



Tugas Akhir

MO 141326

Analisa Perencanaan Proteksi Katodik Pada Kaki Dermaga Teluk Lamong

M.BIJAK PRIHANTONO

NRP. 4309 100 035

Dosen Pembimbing

Herman Pratikno, S.T., M.T.,Ph. D.

NIP 19730415 200003 1 001

Dr. Ir. Hasan Ikhwan, M.Sc.

NIP 19690121 199303 1 002

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2017

Analisa Perencanaan Proteksi Katodik Pada Kaki Dermaga Teluk Lamong

TUGAS AKHIR


**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh

Muhamad Bijak Prihantono

NRP. 4309100035

Disetujui oleh

- 
1. Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph. D.....(Pembimbing I)
 2. Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc.....(Pembimbing II)
 3. Rudi Walujo Prastianto, ST., MT., Dr/Eng.....(Penguji I)
 4. Yoyok Setyo Hadiwidodo, ST., MT., Ph. D.....(Penguji II)

SURABAYA, 27 Juli 2017



Analysis of Cathodic Protection Design at the Reinforcement Concrete of Teluk Lamong Pier

M.BIJAK PRIHANTONO

NRP. 4309 100 035

Supervisor

Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph. D.

NIP 19730415 200003 1 001

Dr. Ir. Hasan Ikhwan, M.Sc.

NIP 19690121 199303 1 002

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2017

Analisa Perencanaan Proteksi Katodik Pada Kaki Dermaga Teluk Lamong

Nama : Muhamad Bijak Prihantono
NRP : 4309100035
Jurusan : Teknik Kelautan FTK – ITS
Dosen Pembimbing : Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph. D
Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc

Abstrak

Beton yang selama ini dikenal sebagai material yang “tahan karat”, sebenarnya bisa juga mengalami korosi sebagaimana korosi atau karat yang terjadi pada struktur baja. Menurut buku *Corrosion for Science and Engineering* (K. R. Trethewey and J. Chamberlain, 1991) bahwa korosi merupakan kerusakan material yang disebabkan oleh pengaruh lingkungan sekelilingnya. Adapun proses korosi yang terjadi disamping oleh reaksi kimia juga diakibatkan oleh proses elektro kimia. Di sini yang dimaksud dengan lingkungan sekelilingnya dapat berupa lingkungan asam, udara, embun, air tawar, air laut, air danau, air sungai dan air tanah. Seperti halnya kaki dermaga, kaki dermaga memerlukan sebuah sistem katodik proteksi agar dapat mencapai umur desain dermaga tersebut. Pada Terminal *Multipurpose* Teluk Lamong sebagai kasus permasalahan yang diambil. Dengan memiliki kaki dermaga sebanyak 810 buah serta umur desain hingga 100 tahun perlu diadakan perencanaan katodik proteksi. Perencanaan katodik proteksi ini ada dua macam jenis yaitu SACP (*Sacrificial Anode Cathodic Protection*) dan ICCP (*Impressed Current Cathodic Protection*) yang dipertimbangkan dalam hal teknis maupun ekonomis. Lebih banyak kasus untuk desain ICCP cenderung relatif lebih ekonomis daripada desain SACP tetapi penerapan desainnya lebih rumit. ICCP cenderung untuk bangunan dengan umur desain yang lama.

Kata kunci : Dermaga Teluk Lamong, proteksi katodik, korosi, impress current, sacrificial anode

Analysis of Cathodic Protection Design at the Reinforcement Concrete of Teluk Lamong Pier

Name : Muhamad Bijak Prihantono
NRP : 4309100035
Major : Teknik Kelautan FTK – ITS
Supervisor : Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph. D
Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc

Abstract

The concrete for the material known as "stainless", could also experience corrosion corrosion or rust as it happens on a steel structure. According to the book Corrosion for Science and Engineering (k. r. Trethewey and j. Chamberlain, 1991) that corrosion is the material damage caused by the influence of the surrounding environment. As for the process of corrosion that occurs in addition also by chemical reactions caused by electro-chemical process. Here is the surrounding neighborhood can be an acid environment, the air, the dew, the fresh water, sea water, river water, lake water and groundwater. Like dock feet, dock feet require a cathodic protection system in order to achieve the design life of the dock. At Multipurpose Terminal Teluk Lamong as the case of the problem taken. By having the foot dock as much as 810 pieces as well as up to 100-year design lifespan need cathodic protection planning was held. This cathodic protection planning there are two kinds of SACP (Sacrificial Anode Cathodic Protection) and ICCP (Impressed Current Cathodic Protection) are taken into consideration in terms of technical or economical. More a case for ICCP design tend to be relatively more economical than the design of the SACP but the application design is more complicated. ICCP tends to the building with the long life design.

Keyword : Teluk Lamong Pier, cathodic protection, corrosion, impress current, sacrificial anode

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir “Analisa Perencanaan Kaki Dermaga Teluk Lamong” dengan baik. Tugas ini disusun guna memenuhi untuk menyelesaikan pendidikan di Jurusan Teknik Kelautan FTK – ITS.

Tugas Akhir ini disusun dengan perbandingan 2 metode katodik proteksi agar dapat mengetahui katodik proteksi yang tepat untuk Dermaga Teluk Lamong ini. Beserta estimasi biaya dan perencanaan teknis. Sehingga dapat dibandingkan mana yang lebih benefit untuk Dermaga Teluk Lamong ini.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini jauh dari sempurna maka kami mengharapkan kritik dan saran demi kesempurnaan kajian tentang ini. Semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi perkembangan teknologi di bidang rekayasa kelautan, bagi pembaca maupun bagi penulis.

Surabaya, 15 Juli 2017

Muhamad Bijak Prihantono

UCAPAN TERIMA KASIH

Penyelesaian tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan berbagai pihak, oleh karena itu dalam kesempurnaan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada

1. Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayahnya serta memberikan petunjuk sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Kedua orang tua penulis yang senantiasa mendoakan dan mendukung dari segi moril maupun materil.
3. Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph. D dan Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc selaku dosen pembimbing tugas akhir penulis yang selalu membimbing penulis hingga terselesaikannya tugas akhir ini.
4. Rudi Walujo Prastianto, ST., MT., Dr.Eng. dan Yoyok Setyo Hadiwidodo, ST., MT., Ph. D. selaku ketua Departemen Teknik Kelautan sekaligus penguji I dan Sekretaris Departemen Teknik Kelautan sekaligus penguji II yang telah memberikan solusi kepada penulis agar terselesaikannya Tugas Akhir ini.
5. Suntoyo, S.T., M.Eng., Ph.D selaku dosen wali penulis yang selalu membimbing penulis dalam mengambil mata kuliah dan selama studi di Jurusan Teknik Kelautan-FTK ITS
6. Semua rekan rekan Leviathan L-29 Teknik Kelautan FTK-ITS
7. Dan semua pihak yang penulis tidak dapat menyebutkannya satu persatu.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR	vi
UCAPAN TERIMA KASIH.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Masalah	2
1.4 Manfaat.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	5
1.1 Tinjauan Pustaka	5
1.2 Dasar Teori	6
1.2.1 Mekanisme Korosi	6
1.2.2 Faktor yang Mempengaruhi Korosi pada Beton.....	9
1.2.3 Aspek <i>Electrochemical</i>	12
1.2.4 Katodik Proteksi.....	17
1.2.5 Mekanisme Perhitungan.....	24
BAB III METODOLOGI	27
3.1 Diagram Alir.....	27
3.2 Studi Literatur.....	28
3.3 Pengumpulan Data	28
3.1.1 Data Lapangan.....	28
3.1.2 Data Ekonomis	33

3.4 Analisis Teknis	35
3.5 Analisis Ekonomis.....	35
3.6 Kesimpulan dan Saran	35
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN.....	37
4.1 Analisis Data	37
4.1.1 Analisis Korosifitas Tanah	37
4.1.2 Pemilihan Proteksi Katodik.....	38
4.1.3 Analisis Anoda Tumbal.....	38
4.1.4 Analisis <i>Impress Current Cathodic Protection</i>	43
4.2 Analisis Ekonomis.....	49
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	51
5.1 Kesimpulan.....	51
5.2 Saran	52
DAFTAR PUSTAKA	53
LAMPIRAN	
BIOGRAFI	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema sel korosi yang menunjukkan reaksi anodik dan katodik	6
Gambar 2.2 Model Tutti menunjukan fase inisiasi dan propagasi	7
Gambar 2.3 Terbentuknya FeCl_2	8
Gambar 2.4 Terbentuknya Lubang	9
Gambar 2.5 Pourbaix Diagram	13
Gambar 2.6 Skema polarisasi untuk logam	14
Gambar 2.7 Kurva polarisasi anodik	15
Gambar 2.8 Kurva polarisasi katodik	16
Gambar 2.9 Potensi korosi	17
Gambar 2.10 Proses perlindungan oleh anoda tumbal	18
Gambar 2.11 Mekanisme <i>impressed current method</i>	22
Gambar 2.12 Perilaku baja pada beton	23
Gambar 3.1. Diagram Alir	27
Gambar 3.2 Desain Pile Cap	30
Gambar 3.3 Desain Elevasi	30
Gambar 3.4 Gambar Pembangunan Dermaga	31
Gambar 3.5 Data anoda zinc	33
Gambar 3.6 Data anoda alumunium	34
Gambar 3.7 Data MMO turbular anoda	34
Gambar 3.8 Data MMO turbular anoda	35

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tabel Volta	18
Tabel 2.2 Anoda tumbal yang sering digunakan	21
Tabel 2.3 Densitas arus rata rata untuk beton bertulang.....	25
Tabel 2.4 Faktor electrochemical capacity	25
Tabel 2.5 Faktor anoda	25
Tabel 3.1 Tabel Struktur Dermaga Teluk Lamong	29
Tabel 3.2 Tabel Penulangan.....	33
Tabel 4.1 Data Tanah Gresik	36
Tabel 4.2 Data Pile.....	37
Tabel 4.3 Tinggi area di air.....	37
Tabel 4.4 Tinggi area dalam tanah.....	37
Tabel 4.5 Luas area di air.....	38
Tabel 4.6 Luas area di dalam tanah	38
Tabel 4.7 Arus yang dibutuhkan di air.....	39
Tabel 4.8 Arus yang dibutuhkan di tanah	39
Tabel 4.9 Harga dan spesifikasi anoda alumunium	40
Tabel 4.10 Harga dan spesifikasi anoda zinc	41
Tabel 4.11 Biaya perawatan dan instalasi anoda zinc.....	41
Tabel 4.12 Biaya perawatan dan instalasi anoda alumunium.....	42
Tabel 4.13 Biaya Instalasi ICCP	47
Tabel 4.14 Biaya Perawatan ICCP.....	47
Tabel 4.15 Perbandingan Harga pada tahun ke 20	48

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN I Densitas Air Laut Dan Faktor Electrochemical

LAMPIRAN II Tabel VOLTA

LAMPIRAN III Dokumentasi Lapangan

LAMPIRAN IV Desain Perencanaan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Perkembangan teknologi dunia terus mengalami kemajuan sebagaimana negara Indonesia yang mengalami perkembangan teknologi yang sangat pesat. Rekayasa teknologi yang dilakukan meliputi segala struktur bangunan baik berupa struktur pantai seperti groin; jetty; breakwater; seawall; revetment; dan breakwater, maupun struktur lepas pantai seperti jacket platform; TLP; semisubmersible; dan lain sebagainya. Mengingat Indonesia adalah negara yang kaya akan sumber daya alam laut, kedua bidang tersebut perlu dikembangkan demi terwujudnya kesejahteraan nasional.

Indonesia sebagai negara maritim terbesar keempat dunia setelah Amerika Serikat, Kanada, dan Rusia mempunyai panjang garis pantai mencapai 95.181 km (Sutirto. 2014). Pada wilayah pesisir pasti terjadi berbagai distribusi logistik dalam skala besar. Tetapi masalah yang dihadapi dalam wilayah pesisir lebih kompleks akibat interaksi alam yaitu laut, udara, daratan, dan muara sungai.

Pelabuhan merupakan sebuah tempat yang terdiri dari daratan dan perairan di sekitar dengan batas-batas tertentu sebagai tempat kegiatan pemerintahan dan kegiatan ekonomi yang digunakan sebagai tempat bersandar, berlabuh, naik turun penumpang, dan bongkar muat barang yang dilengkapi keselamatan pelayaran dan kegiatan penunjang pelabuhan serta sebagai tempat perpindahan mitra dan antar moda transportasi (UU no 21 Tahun 1992 Bab I pasal 1). Pelabuhan multipurpose di Teluk Lamong memenuhi kriteria dari undang-undang tersebut. Sehingga permasalahan yang terjadi sangat kompleks termasuk masalah korosifitas. Suatu bangunan laut karena interaksi alam yaitu udara, laut, dan daratan mengalami kondisi rawan akan korosi. Sehingga penerapan sistem proteksi merupakan hal yang sangat penting untuk memelihara keselamatan khususnya terhadap kerugian akibat serangan korosi dari waktu ke waktu semakin besar.

Kerusakan logam yang disebabkan lingkungan udara (*atmospheric corrosion*), seperti Indonesia merupakan masalah yang cukup serius dan perlu ditangani mengingat temperature udara dan kelembapan yang cukup tinggi. Diperkirakan kerugian negara akibat korosi rata-rata sekitar 3-4% dari GNP, tetapi apabila dilakukan cara penanggulangan korosi dengan benar, 15% dari kerugian tersebut diselamatkan. Kerusakan struktur bangunan dan peralatan terutama di lingkungan dekat dengan pantai sangat parah. Hal ini disebabkan karena udara pantai yang mengandung ion klorida yang berasal dari deburan ombak yang terbawa angin laut dan

dikenal sangat agresif terhadap proses korosi. Kandungan ion klorida diudara akan berkurang sebanding dengan jauhnya jarak dari pantai (Burstein. 1994). Dalam pelabuhan daerah yang paling rawan terjadinya korosi terdapat pada daerah pasang surut air yang mengenai *steel concrete* pada bangunan tersebut. Karena sifat ekspansif dari proses korosi, beban ditimbulkan dari oksidasi besi, sehingga merusak beton. Lalu terjadinya retakan yang semakin mempercepat proses korosi yang menyebabkan berkurangnya kekuatan baja tersebut. Sehingga menghasilkan struktur yang tidak aman (Bhuiyan. 2015).

Penggunaan perlindungan proteksi pertama kali diutarakan oleh Sir Humphrey Davy di tahun 1820. Davy menyarankan kepada Angkatan Laut Kerajaan Inggris untuk menyelidiki korosi tembaga yang digunakan untuk lambung kapal angkatan laut. Davy menemukan bahwa ia bisa mempertahankan tembaga di air laut dengan memasaing sejumlah seng (*zinc*) (Turnbull, 2003). Katodik proteksi saat ini dilakukan dengan dua metode yaitu dengan anoda tumbal dan *impressed current method* (Peabody, 1967).

Melalui tugas ini dilakukan perencanaan katodik proteksi pada kaki dermaga terminal Teluk Lamong untuk menunjukan sistem katodik proteksi yang sesuai dengan kondisi tersebut. Dengan membandingkan kedua metode katodik proteksi tersebut dari segi ekonomis dan dari segi teknis.

1.2 Perumusan Masalah

1. Bagaimana desain perlindungan korosi pada tiang pancang dengan sistem ICCP dan SACP yang memenuhi kriteria?
2. Sistem manakah yang secara ekonomis dan teknis memenuhi kriteria dalam perlindungan korosi pada pile?

1.3 Tujuan Masalah

1. Mengetahui desain perlindungan korosi pada tiang pancang dengan sistem ICCP (*Impressed Current Catodic Protection*) dan SACP (*Sacrificial Anode Catodic Protection*) yang memenuhi kriteria.
2. Menentukan tipe perlindungan korosi yang tepat untuk struktur pile baik dari segi teknis dan ekonomis.

1.4 Manfaat

Dari tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan informasi yang berguna mengenai perbandingan perbandingan antara dua sistem perlindungan korosi eksternal maka dapat diketahui langkah langkah dan sistem yang tepat untuk mengatasi korosi pada struktur pile, baik dipandang dipandang dari segi ekonomis segi ekonomis dan teknis. Sehingga memperkecil kesalahan dalam penanganan korosi pada tiang pancang.

1.5 Batasan Masalah

Agar memperjelas ruang lingkup yang ditinjau, maka perlu adanya asumsi-asumsi yang dipakai sebagai berikut..

1. Perhitungan dilakukan berdasar DnV RP B401 tahun 2010 *Cathodic Protection Design*.
2. Objek penelitian ini didapat dari *project* pembangunan dermaga Teluk Lamong.
3. Diasumsikan tidak ada *marine growth* yang menempel pada tiang pancang.
4. Pengaruh pengerjaan material diabaikan.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir meliputi.

BAB I PENDAHULUAN

Terdiri dari latar belakang disusunnya tugas akhir, perumusan masalah, tujuan masalah, manfaat, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Merupakan kajian tentang beberapa penelitian, referensi buku, dan teori-teori mendasar dalam tugas akhir ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian adalah suatu alur pengerjaan tugas akhir yang dilakukan untuk menyelesaikan masalah yang terdapat pada tugas akhir dalam bentuk diagram alir yang disusun secara sistematis. Dilengkapi dengan penjelasan setiap alur dan data yang dibutuhkan untuk menyelesaikan permasalahan yang diangkat dalam tugas akhir.

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Analisis data dan pembahasan dalam tugas akhir adalah pengolahan data disertai dengan penjelasan pokok serta pemecahan masalah pokok yaitu perbandingan dalam segi teknis dan ekonomis serta perencanaan sistem proteksi katodik pada kaki dermaga di Teluk Lamong.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Merupakan kesimpulan dari pembahasan masalah yang menjawab tujuan masalah dan saran mengenai penelitian selanjutnya.

BAB II

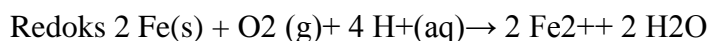
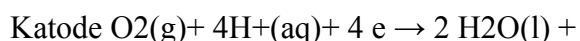
TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Pengembangan perencanaan ini dilakukan dengan perbandingan dua metode katodik proteksi. Dengan memanfaatkan berbagai hasil dan analisis dari perhitungan perencanaan kedua metode dan perhitungan biaya dari spesifikasi material yang dibutuhkan menurut harga pasaran saat ini. Kedua metode ini adalah *sacrificial anode method* (SACP) dan *impressed current method* (ICCP) yang mana banyak digunakan dalam proteksi katodik dalam bangunan laut.

Korosi adalah suatu proses elektrokimia yang terjadi pada sebuah bahan yang mempunyai perbedaan komposisi berbeda muatan elektron sehingga terjadi perpindahan elektron yang mengakibatkan terjadinya korosi. Faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya korosi adalah oksigen dengan media sebuah cairan dan besi pada satu tempat. Pengertian Korosi lainnya adalah penurunan mutu logam akibat reaksi elektro kimia dengan lingkungannya. Korosi atau pengkaratan merupakan fenomena kimia pada bahan – bahan logam yang pada dasarnya merupakan reaksi logam menjadi ion pada permukaan logam yang kontak langsung dengan lingkungan berair dan oksigen (Trethewey, K.R., dan Chamberlain, 1991).

Korosi logam melibatkan proses anodik, yaitu oksidasi logam menjadi ion dengan melepaskan elektron ke dalam (permukaan) logam dan proses katodik yang mengkonsumsi elektron tersebut dengan laju yang sama : proses katodik biasanya merupakan reduksi ion hidrogen atau oksigen dari lingkungan sekitarnya. Untuk contoh korosi logam besi dalam udara lembab (Turnbull dkk, 2003), misalnya proses reaksinya dapat dinyatakan sebagai berikut :



Di alam, logam pada umumnya adalah bijih dari oksida, karbon atau sulfide yang stabil. Proses pemurnian dan pembuatan logam dengan cara mengubah stabilitas logam sehingga produk tersebut cenderung kembali ke keadaan semula yang stabil. Proses ini disebut juga proses korosi (Bhuiyan, 2015).

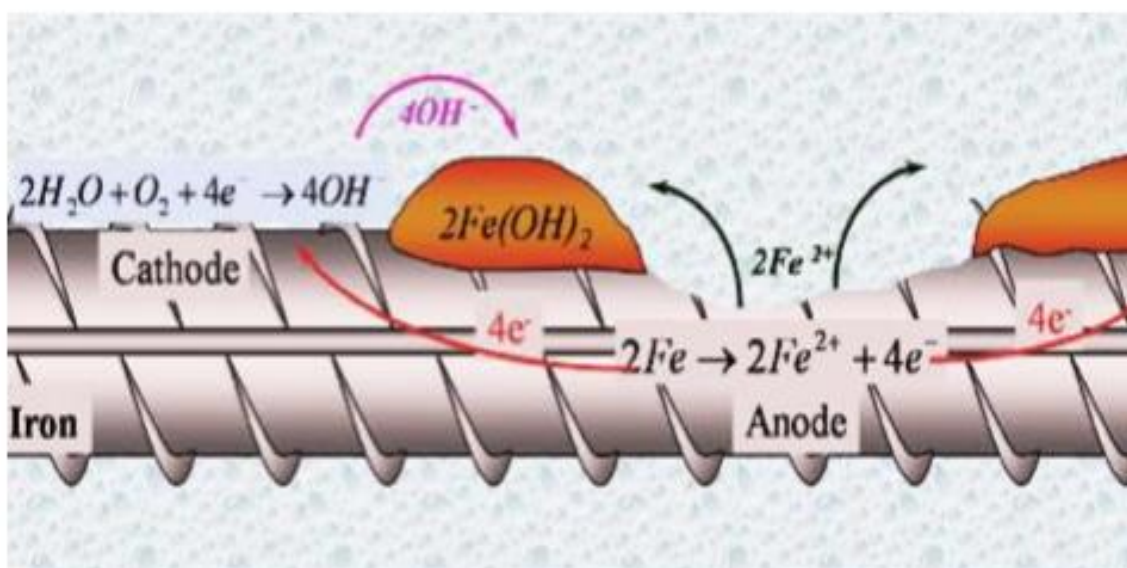
Pada umumnya beton dapat mengurangi laju korosi pada tulangnya, hingga bukti tercatat pada awal tahun 1907. Ketika diamati bahwa beton bertulang diuji dengan klorida ternyata memungkinkan terjadinya korosi baja yang menyebabkan retak pada beton. Banyak struktur beton pada saat ini telah mencapai umur rancangannya tanpa adanya bukti degradasi struktural. Namun, sekarang terbukti bahwa didaerah atmosfer yang agresif, beton dapat rusak. Penelitian membuktikan pada jalan di Inggris mempunyai desain umur 120 tahun. Karena tingkat atmosfer yang sangat agresif dan menunjukkan masalah korosi yang signifikan menunjukkan pengurangan desain umur. Estimasi pada korosi beton bertulang bisa mengurangi umur desain hingga 5,5 tahun pada 0,4% klorida (Broomfield, 2002).

Katodik proteksi adalah cara yang digunakan untuk mengontrol korosi terhadap material yang terkena langsung dengan proses oksidasi dengan menggunakan katoda dari sel elektrokimia.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Mekanisme Korosi

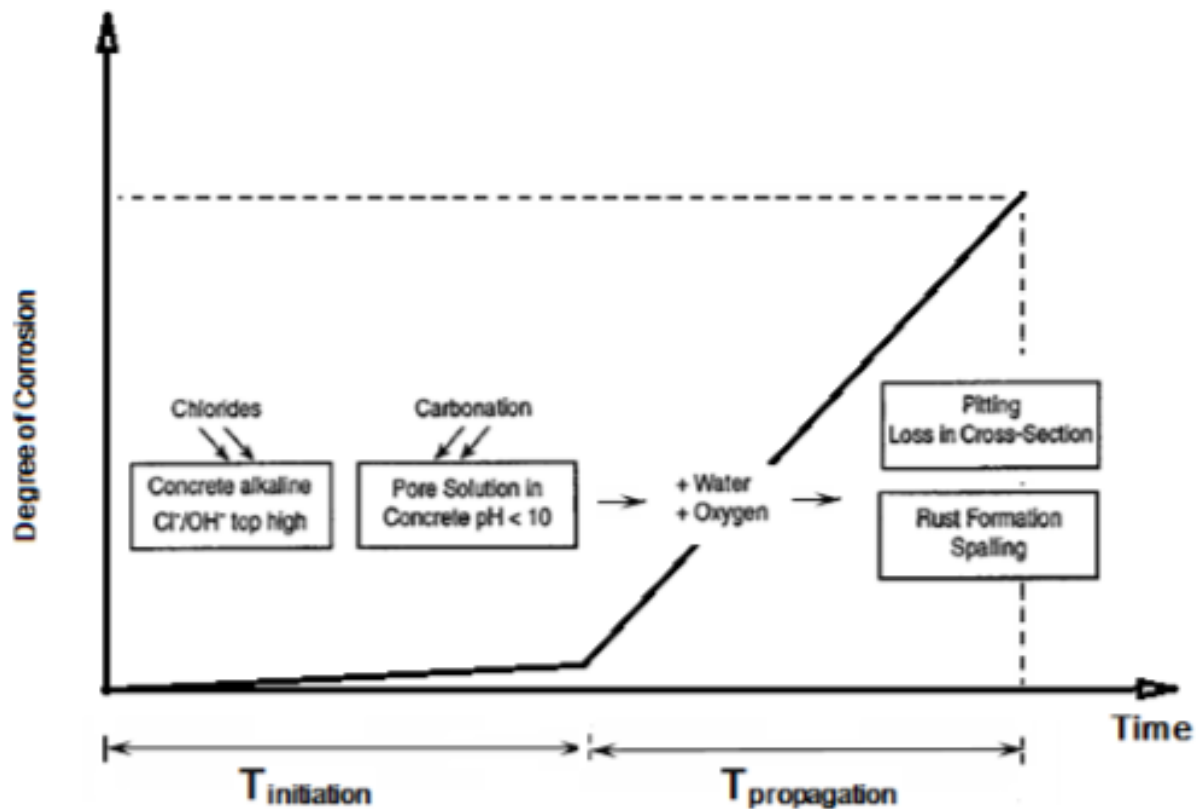
Korosi merupakan reaksi redoks yang terjadi pada logam sehingga logam itu kehilangan stabilitasnya, namun tergantung pada kondisi oksida dan hidroksida besi yang berbeda. Menyebabkan kondisi karat dapat bervariasi dan terkadang sangat kompleks. Misalnya, pada komponen utama dari karat pada baja yang terkena atmosfer laut ditemukan senyawa *goethite* (γ -FeOOH), *lepidocrocite* (α -FeOOH), *amorphous oxyhydroxide* (β -FeOOH), dan *magnetite* (Fe_3O_4) (Soare A dan C. Mandravel, 2010).



Gambar 2.1 Skema sel korosi yang menunjukkan reaksi anodik dan katodik

(Soare A dan C. Mandravel, 2010)

Beton sebenarnya bersifat sangat basa dengan pH berkisar antara 12,6-14, karena adanya konsentrasi hidroksi kalsium, kalium natrium yang tinggi akibat reaksi hidrasi dari semen. Dalam lingkungan alkali yang tinggi, terbentuk lapisan tipis oksida pada permukaan baja yang melindungi dari korosi. Lapisan ini tetap stabil asalkan komposisi kimia pada pori tidak berubah. Hilangnya lapisan ini paling sering terjadi karena serangan klorida dan karbonasi (Tutti, 1982).



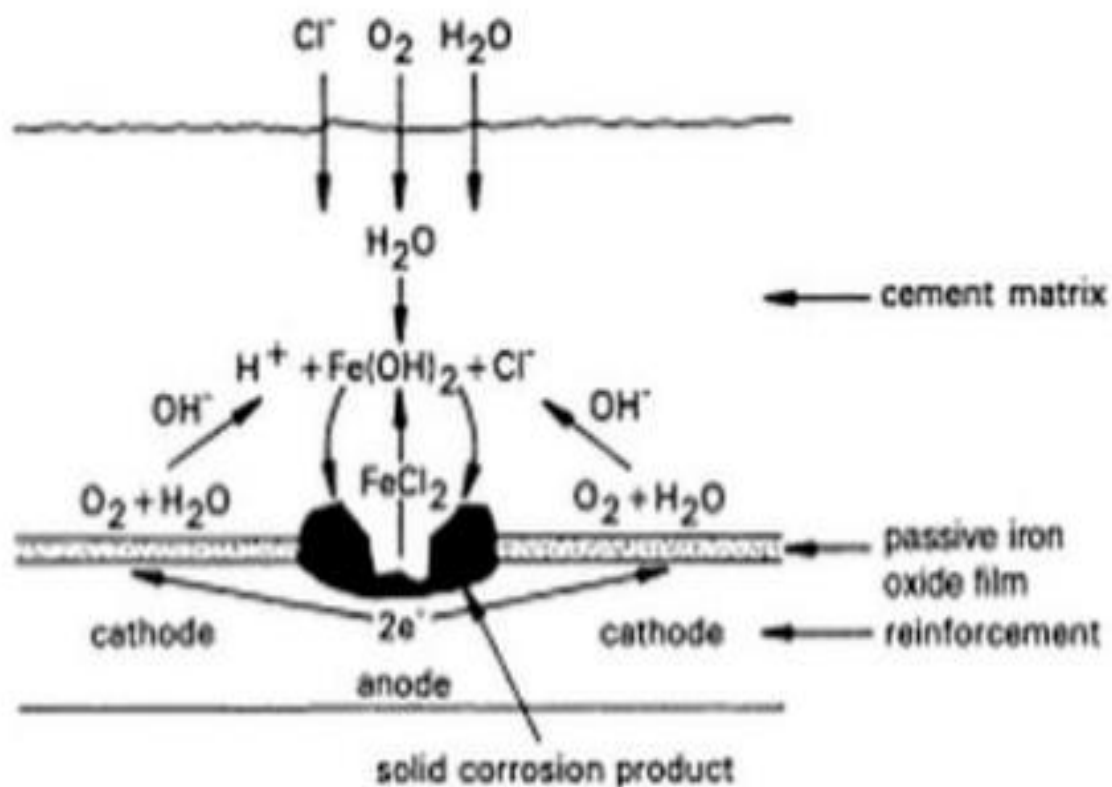
Gambar 2.2 Model Tutti menunjukkan fase inisiasi dan propagasi (Tutti, 1982)

- **Serangan Klorida**

Ion klorida mungkin ada di beton sejak dibuat sebagai hasil kontaminasi campuran air dan sebagainya, namun kasus semacam itu relative jarang terjadi. Dalam kebanyakan kasus, klorida menembus beton dari lingkungan karena letaknya di lingkungan laut atau kristalisasi garam dinegara-negara yang mengalami suhu beku. Penetrasi ion klorida dalam beton terjadi melalui mekanisme yang berbeda, yaitu difusi, penyerapan kapiler, dan terkadang migrasi ion (gerakan ion dibawah pengaruh medan listrik).

Difusi adalah mekanisme dominan yang dimana beton benar benar terendam, namun di zona udara atau daerah yang terpapar siklus basah dan kering (*splash water zone*) lebih dominan terjadi penyerapan kapiler. Hilangnya kekuatan baja akibat serangan klorida menyebabkan terbentuknya korosi lokal (Elsener, 2000).

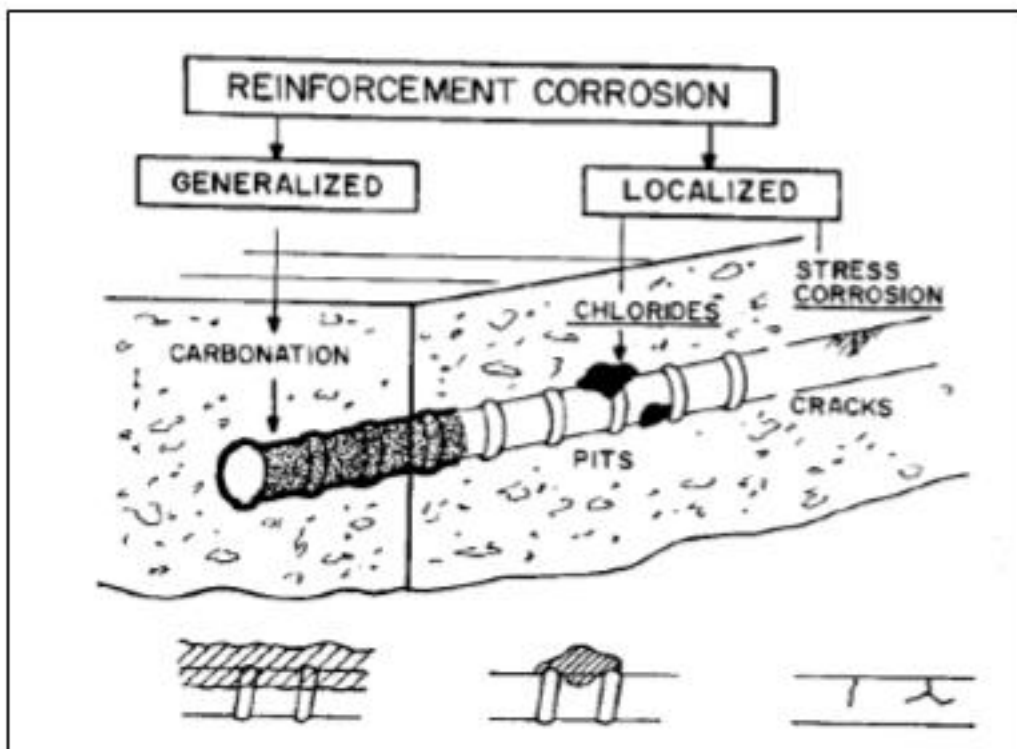
Klorida tidak secara signifikan mempengaruhi pH beton secara langsung, namun begitu lubang terbentuk, klorida dapat menggabungkan ion dengan hidrogen dan membentuk HCl, menyebabkan pengasaman di lubang. Pengurangan pH yang terjadi mendorong pelarutan ion Fe. Selanjutnya, ion klorida dapat dikombinasikan dengan ion Fe^{2+} untuk membentuk FeCl_2 yang bertindak sebagai katalis untuk proses korosi.



Gambar 2.3 Terbentuknya FeCl_2 (Glass, 2008)

- **Karbonisasi**

Karbonisasi terjadi ketika karbon dioksida atmosfer bereaksi dengan kalsium dan hidroksida alkali yang ada dalam semen sehingga terjadinya asam karbonat yang menghasilkan penurunan pH pada beton. Karbonisasi terjadi melalui proses difusi dan merupakan proses yang relatif lambat. Celah pada beton akan timbul biasanya setelah umur 20 tahun untuk beton dengan ketebalan 20-25mm, namun perlu dicatat bahwa laju dapat bervariasi tergantung pada tingkat kejenuhan beton, permeabilitas beton, dan ketersediaan CO₂ (*NuclearEnergy*, 2002)



Gambar 2.4 Terbentuknya Lubang (*NuclearEnergy*, 2002)

2.2.2 Faktor yang Mempengaruhi Korosi pada Beton

Perilaku korosi baja pada beton bertulang mempunyai sejumlah faktor yang dapat diklasifikasikan dari sifat material maupun pengaruh dari luar. Sifat material, sebagaimana istilahnya, mengkhawatirkan sifat fisik, kimia, dan beton. Pengaruh eksternal pada korosi meliputi faktor-faktor seperti agresivitas lingkungan dan adanya arus berlebihan.

1. Tipe Baja

Jenis baja yang berbeda memiliki struktur dan komposisi mikro yang berbeda, akibatnya baja menunjukkan berbagai perilaku korosi pada beton (Shayan dan Song. 1998). *Stainless steel* bila dibandingkan dengan baja karbon polos, menunjukkan ketahanan yang lebih tinggi terhadap korosi pada beton. Tingkat korosi *stainless steel* dapat lebih dari rendah hingga dua kali lipat daripada karbon polos dan kandungan klorida yang dapat ditolerir sebelum inisiasi serangan klorida jauh lebih tinggi, dengan ambang klorida kritis mencapai 8% (tergantung pada tingkat *stainless steel*) (Bertolini dan Pedferri. 1998).

2. Resistivitas Beton

Penelitian telah menunjukkan korelasi yang baik antara resistivitas beton dan laju korosi, perbandingan resistivitas beton dan laju korosi berbanding terbalik (Moris. 2002). Resistivitas dapat menjadi parameter yang berguna dalam menilai kecenderungan korosi baja pada beton. Hal ini dipengaruhi oleh berbagai faktor. Faktor-faktor seperti tingkat hidrasi, campuran semen, suhu, dan kelembaban merupakan faktor penting dalam mempengaruhi resistivitas beton.

3. Komposisi Larutan Pori

Komposisi kimia larutan pori beton dapat mempengaruhi karakteristik korosi baja pada beton. Larutan pori mengandung sejumlah ion terlarut sebagai hasil reaksi hidrasi yang terjadi antara air dan bahan semen, walaupun sebagian kecil ion yang ada dapat bersumber dari kontaminan yang ada dalam unsur penyusun atau dari penggunaan campuran kimia. Ini berfungsi sebagai elektrolit yang membuat korosi pada beton dan sangat mempengaruhi resistivitas beton. komposisi larutan pori dipengaruhi oleh sejumlah faktor termasuk rasio semen, air terhadap semen, dan campuran lainnya, pH larutan pori juga berperan penting dalam korosi baja pada beton. Selain membentuk lapisan anti korosi, nilai pH tinggi penting untuk stabilitas karbon, sulfur, dan hidrogen. Yang akan menentukan sifat mikrostruktur semen. Penurunan pH menghasilkan deklasifikasi dan penurunan matriks semen (Revertegat, 1992).

4. Permeabilitas Beton

Permeabilitas sering digunakan dalam arti luas untuk merujuk pada masuknya zat secara umum kedalam bahan beton (atau bahan berpori), namun digunakan dalam literature untuk menunjukkan masuknya cairan. Dari prespektif korosi, masuknya kloridan dan karbondioksida yang berpotensi menyebabkan korosi pada baja. Secara umum diterima bahwa permeabilitas beton sangat erat kaitannya dengan porositasnya, tergantung pada distribusi ukuran pori-pori karena telah terbentuk dengan baik hanya pori yang memiliki diameter yang besar (Elsener. 2000). Porositas merupakan faktor penting dalam penentuan permeabilitas yang bergantung pada rasio w/c, tingkat hidrasi, pengumpulan partikel, retak plastik, dan penggunaan campuran mineral (Kearsley. 1999).

5. Selimut Beton

Definisi selimut beton adalah ketebalan beton dari permukaannya ke tulangan baja terdekat. Ini adalah penghalang fisik yang melindungi baja dari lingkungan. Waktu yang dibutuhkan untuk zat agresif untuk masuk ke tulangan baja sangat bergantung pada ketebalan dan kualitasnya. Eksperimen yang dilakukan Marosszeky dkk, menunjukkan bahwa sejumlah besar bangunan dan struktur beton mengalami tekanan ketahanan secara langsung karena selimut beton yang tidak memadai. Terlepas dari spesifikasi selimut beton minimum dan kekuatan yang diberikan dalam standar bangunan, sering ditemukan bahwa karena pengerjaan yang buruk dan pengawasan loaksi, selimut beton berubah mentadi sub standar sehingga menghasilkan zat agresif yang mencapai baja sebelum waktunya.

6. Lingkungan

Agresifitas lingkungan dimana struktur beton berada merupakan hal penting dalam perilaku korosi pada tulangan baja. Hal ini karena pengaruh lingkungan bahwa proses korosi biasanya dimulai. Berbagai parameter dapat digolongkan karena faktor lingkungan, yaitu kelembaban, suhu, ketersediaan oksigen, dan masuknya zat berbahaya. Kandungan kelembaban awal dari beton bergantung pada total air campuran yang digunakan dan mengalami perubahan dari waktu ke waktu karena hidrasi dan pengeringan, hal lain yang mempengaruhi kelembaban adalah suhu lingkungan relative. Kelembaban atau air adalah salah satu zat untuk reaksi korosi. Dan kelembaban juga mempengaruhi resistivitas listrik (Schießl, 1988). Beton yang merupakan parameter yang ditunjukkan terkait erat dengan laju korosi dan indikator efektif resiko korosi.

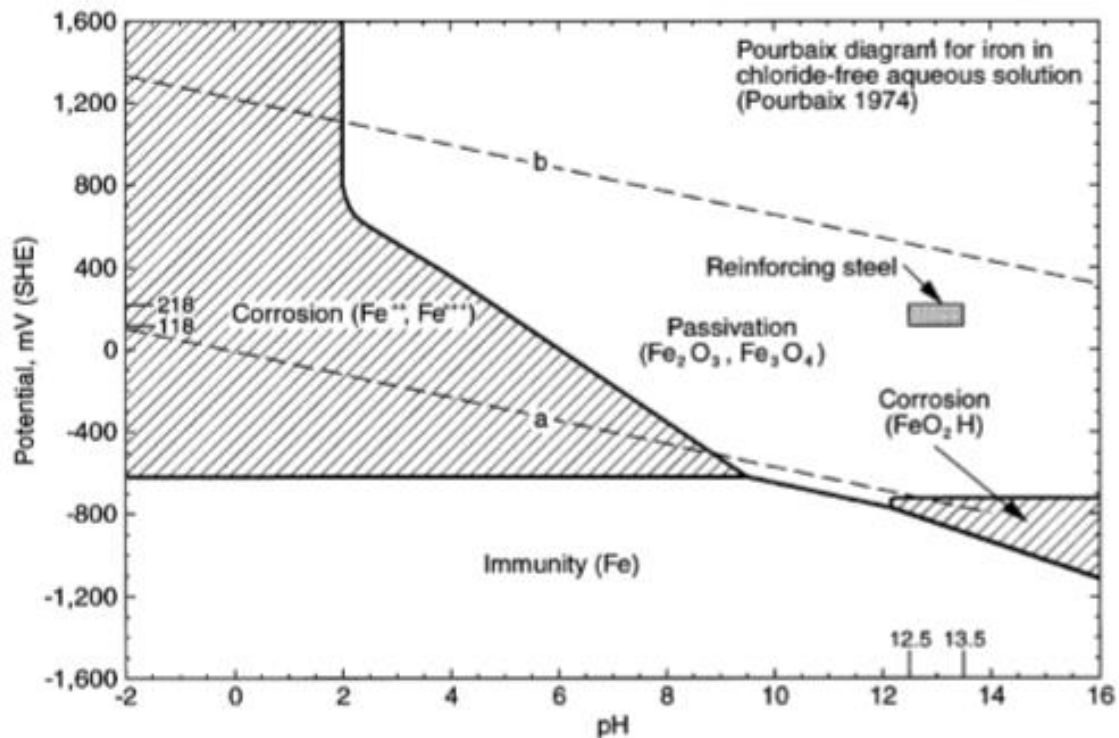
Suhu telah terbukti mempengaruhi laju korosi baja pada beton. Kinetika kimiawi reaksi korosi meningkat dengan suhu yang meningkat juga. Sebagai aturan umum mungkin tingkat korosi meningkat dua kali lipat dengan kenaikan 10°C (Neville. 1995). Maslehuudin dkk telah menunjukkan bahwa kimia beton dipengaruhi oleh suhu. Dia menyimpulkan bahwa suhu sangat mempengaruhi kapasitas pengikatan klorida dari semen, setekah mengamati bahwa konsentrasi klorida dalam larutan pori meningkat saat suhu dinaikkan diatas 55°C.

Oksigen merupakan salah satu elemen penting dalam reaksi korosi bisa menjadi faktor pembatas laju tergantung pada ketersediaannya. Dilingkungan dimana oksigen tidak memadai, misalnya dalam kondisi terendam maka reaksi korosi terhambat, terlepas dari air dan bahkan garam dalam kasus air laut. Dengan demikian, kondisi ideal untuk korosi memerlukan keseimbangan dari semua elemen yang diperlukan, yang menjelaskan mengapa *splash water zone* struktur laut memiliki tingkat korosifitas lebih tinggi daripada zona terendam. Tingkat korosi terlihat meningkat dengan cepat dengan kelembaban relatif internal beton sampai 95% hingga terjadinya korosi turun sampai nol, karena saturasi dan kekurangan oksigen (Bertolini dan Pedferri, 1998).

2.2.3 Aspek Electrochemical

1. Pourbaix diagram

Sangat sedikit logam, seperti platinum dan emas ditemukan stabil dalam kebanyakan kondisi. Semua logam lainnya kehilangan stabilitasnya dalam kondisi tertentu untuk beralih ke keadaan yang lebih stabil. Ditemukan bahwa korosi logam dalam larutan berair sangat bergantung pada potensi logam dan pH. Lalu Pourbaix merancang sebuah metode untuk menggambarkan perilaku elektrokimia dan korosi yang dikenal sebagai diagram Pourbaix. Diagram ini memetakan daerah stabilitas termodinamika dari fase yang mungkin terjadi dalam sistem elektrokimia, yang dapat berguna dalam perspektif rekayasa korosi untuk mengidentifikasi domain pH potensial dimana korosi tidak terjadi, yaitu dimana logam tersebut ada dalam fase stabil (Revie dan Uhlig, 2008).



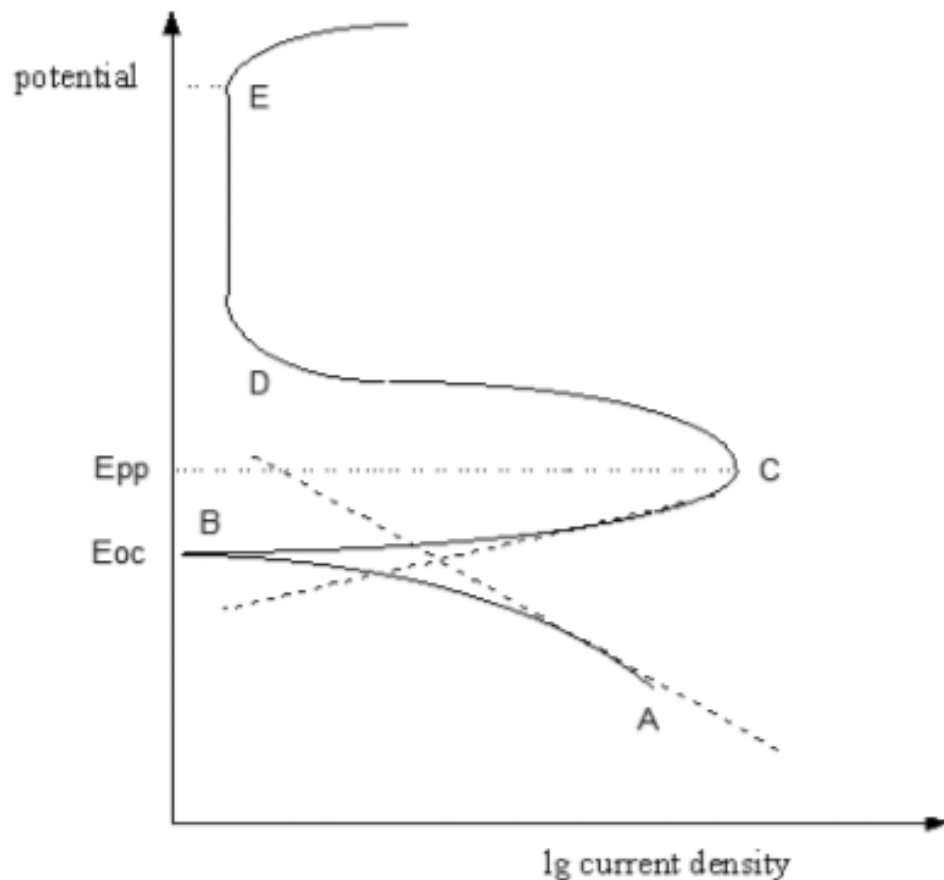
Gambar 2.5 Pourbaix Diagram (Pourbaix, 1974)

Gambar 5 menunjukkan diagram Pourbaix untuk besi dalam larutan berair bebas klorida pada suhu 25°C. Angka tersebut dapat dibagi menjadi 3 bagian berbeda dimana zat besi atau senyawa kimianya stabil. Di zona pasif reaksi anodik dengan adanya oksigen menghasilkan oksidasi Fe ke Fe_2O_3 atau Fe_3O_4 . Oksida diketahui memberikan efek perlindungan. Baja penguat dalam beton yang tidak terkontaminasi biasanya memiliki potensi berkisar 118-218 mV dan dikelilingi larutan pori yang memiliki pH sekitar 12,5-13,5, sesuai dengan zona dalam diagram Pourbaix. Dua daerah yang diarsir sesuai dengan domain dimana korosi terjadi. Untuk daerah yang diarsir dibawah pH 10, produk tersebut adalah ion besi yang kompleks. Zona imunitas adalah dimana laju korosi Fe dapat dianggap nihil (tidak signifikan) terletak pada garis a dan b (Bertolini dan Pedferri, 1998).

2.2.4 Polarisasi

Tingkat reaksi anodik dan katodik terjadi dalam sistem elektrokimia bergantung pada potensi listrik anoda dan katoda. Ketika sebuah sistem berada dalam keadaan stabil, arus hasil dalam pergeseran potensi, dengan daerah anodic menjadi daerah katodik dan katodik menjadi lebih anodik (Mears, 1949).

Dengan menerapkan berbagai voltase, respons arus anodik dan katodik saat ini dapat dicatat untuk membentuk plot yang dikenal sebagai kurva polarisasi. Gambar 6 menunjukkan skematik polarisasi potentiodynamik logam pasivasi, dengan penjelasannya dirangkum di bawah ini (WebCorr, 1995)

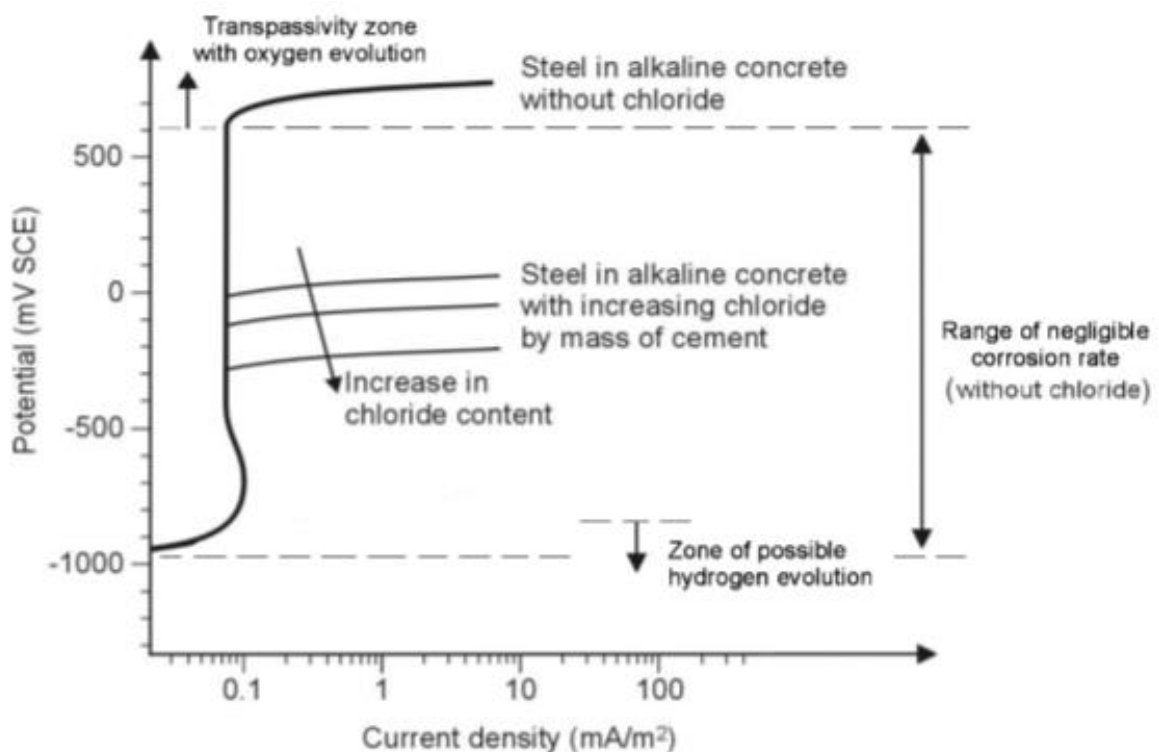


Gambar 2.6 Skema polarisasi untuk logam (WebCorr, 1995)

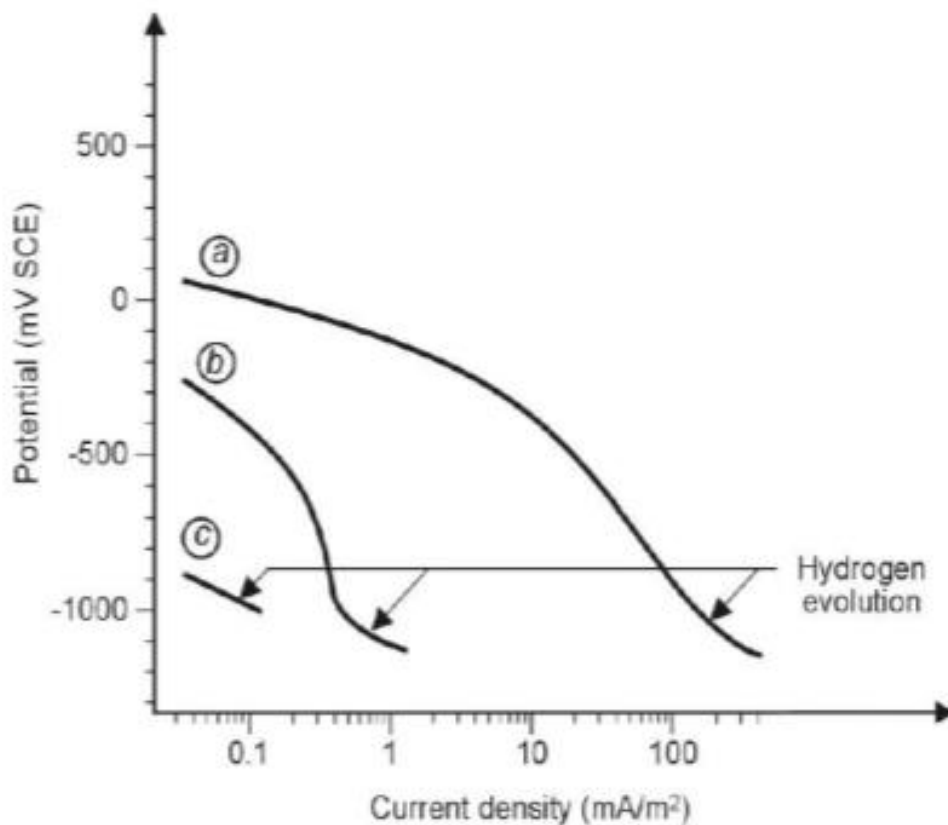
- 3 Eoc adalah potensi sirkuit terbuka atau potensial ekuilibrium, dimana reaksi anodik dan katodik seimbang.
- 4 Potensi logam dapat dipaksa keluar dari keadaan ekuilibriumnya ke nilai yang lebih positif atau negatif. B-C menunjukkan aliran arus bersih positif yang dihasilkan saat potensi meningkat. Hal ini disebabkan oleh peningkatan laju reaksi anodik
- 5 B-A menunjukkan peningkatan laju reaksi katodik sebagai hasil dari pengurangan potensi nilai negatif dari Eoc. Pembentukan lapisindung
- 6 Titik C menandai potensi pasif Epp. Kerapatan arus (tingkat korosi) mencapai maksimum sampai titik ini.
- 7 D-E adalah daerah pasif, dimana tingkat korosi rendah dipertahankan.

- 8 Titik E menandai potensi *pitting corrosion* kritis E_c , di atas mana lapis lindung mulai terjadinya *pitting corrosion*.

Kurva polarisasi berguna dalam menggambarkan perilaku korosi logam. Penentuan kurva polarisasi untuk baja dalam beton jauh lebih rumit daripada baja dalam larutan berair, terutama karena fenomena difusi yang lambat pada beton. Untuk alasan ini, kurva sering diturunkan dengan menggunakan solusi pori simulasi. Untuk beton yang tidak terkontaminasi ditunjukkan pada gambar 7, untuk potensi yang lebih positif dari -1000mV , besi memiliki kecenderungan untuk mengoksidasi, sedangkan untuk potensi dibawah -1000mV dalam keadaan imunitas. Hal ini dapat dibandingkan dengan diagram Pourbaix pada gambar 5 untuk domain antara pH 12,5 dan 13,5 untuk beton yang tidak terkontaminasi. Antara -800mV dan 600mV , arus anodik rendah ($= 0,1 \text{ mA/m}^2$). Di zona (sesuai dengan zona di atas garis b dalam diagram Pourbaix) dengan pelepasan ion H^+ , sehingga menghasilkan keasaman. Kondisi ini hanya bisa dicapai dengan cara polarisasi eksternal. Kehadiran klorida mempengaruhi kurva polarisasi, dengan meningkatnya kadar klorida sehingga reduksi zona pasifiras karena potensi *pitting* menurun (Bertolini dan Pedferri, 1998)



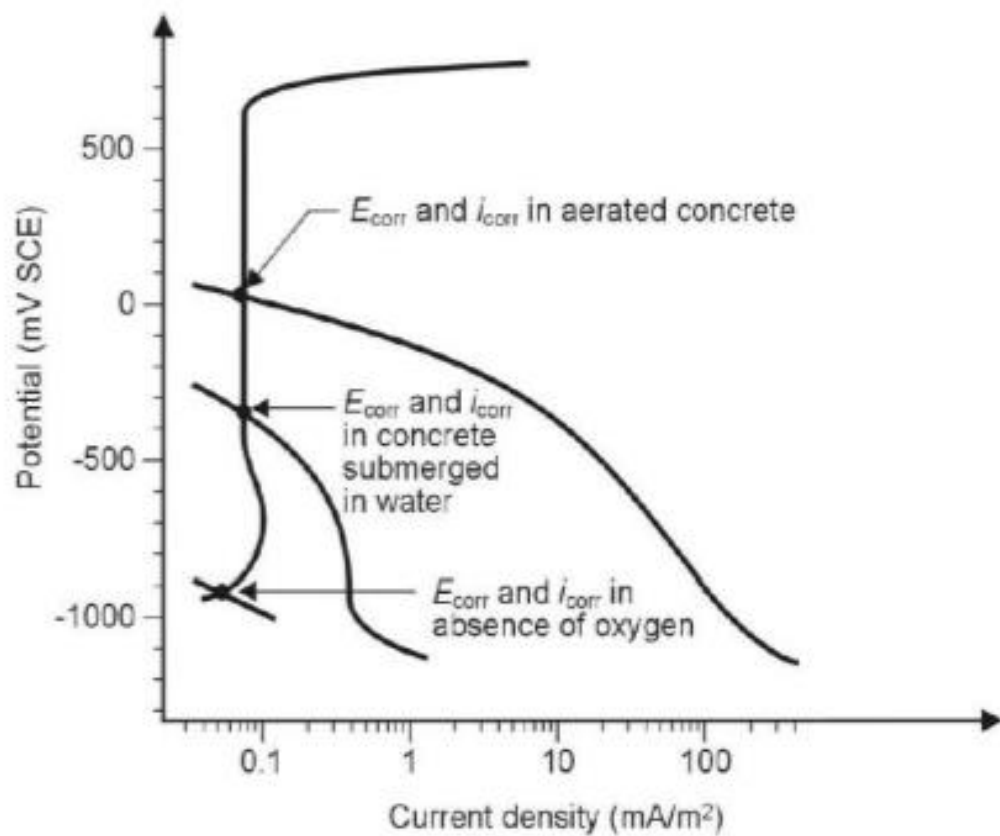
Gambar 2.7 Kurva polarisasi anodik tipikal untuk baja dalam beton yang tidak terkontaminasi (Bertolini dan Pedferri, 1998)



Gambar 2.8 Kurva polarisasi katodik untuk baja dalam a) semi kering b) basah c) beton jenuh (Bertolini dan Pedefferi, 1998)

Meskipun berbagai reaksi katodik ada yang dapat terjadi selama korosi logam, yang paling umum adalah pengurangan oksigen. Pada gambar 8 menunjukkan kurva polarisasi katodik baja pada beton setengah kering, basah, dan beton jenuh. Terlihat bahwa kerapatan arus berkurang dengan kadar air/kelembaban untuk potensi tertentu. Hal ini disebabkan ketergantungan proses katodik terhadap ketersediaan oksigen pada beton bertulang. Karena rendahnya kelarutan oksigen dalam air, jumlah oksigen menjadi terbatas karena beton menjadi jenuh dan dapat menyebabkan kontrol katodik, dimana jumlah oksigen yang tersedia untuk reaksi anodik (pelarutan logam) menjadi terbatas dan ternyata merupakan faktor penentu laju yang dapat terjadi sebagai hasil pembentukan lapisan lindung, walaupun kondisi aerasi (Bertolini dan Pedefferi, 1998).

Untuk sekenario jenuh penuh, potensi dapat mencapai nilai yang sangat negative, biasanya sekitar -900mV, namun memiliki kerapatan arus kecil, seperti terlihat pada kurva c (Chess, 2014). Akibatnya, tanda-tanda korosi mungkin tidak terlihat dari inspeksi visual, namun korosi *pitting* tetap terjadi.



Gambar 2.9 Potensi korosi sebagai persimpangan kurva polarisasi anodik dan katodik
(Bertolini dan Pedefferi, 1998)

Ketika mengabaikan faktor tegangan, persimpangan kurva polarisasi anodik dan katodik menunjukkan arus / tingkat korosi (i_{corr}) dan potensi korosi (E_{corr}), seperti pada gambar 9. Titik persimpangan sesuai dengan kondisi *electroneutrality*, dimana arus anodik sama dengan arus katodik. Dengan kata lain, electron yang dilepaskan oleh reaksi anodik dikonsumsi secara proporsional oleh muatan, yang menunjukkan bahwa tidak ada akumulasi bersih muatan listrik selama reaksi elektrokimia (Bertolini dan Pedefferi, 1998).

2.2.4 Katodik Proteksi

Katodik proteksi adalah cara yang digunakan untuk mengontrol korosi terhadap material yang terkena langsung dengan proses oksidasi dengan menggunakan katoda dari sel elektrokimia. Prinsip dari katodik proteksi adalah menghubungkan anoda eksternal dengan material untuk dilindungi dengan arus DC (searah) sehingga material berubah menjadi katodik dan tidak terjadi korosi. Katodik proteksi dengan menggunakan elektrokimia terdapat 2 macam yaitu:

1. Anoda Tumbal (*Sacrificial Anode*)

Dalam aplikasi biasa sebuah anoda galvanik yang lebih mudah bereaksi (lihat tabel volta) dipasang pada material di area yang mudah terkorosi. Anoda tersebut secara bertahap akan menghilang selama suatu periode ketika dihubungkan ke material. Dan peristiwa itu disebut "*Sacrificial Anode*" atau anoda tumbal.

Anoda galvanik pada umumnya memberikan arus searah melalui penggunaan berbeda. Seperti baterai, logam anodik secara alami berkarat relative terhadap logam yang lebih mulia. Pada beton bertulang, anoda galvanik memberikan perlindungan pengorbanan ke beton dan tidak memerlukan tenaga eksternal. Sistem galvanik digunakan untuk memberikan perlindungan perawatan yang dapat disesuaikan secara ekonomi untuk melindungi bagian struktur yang besar hingga yang kecil. Anoda yang digunakan dalam sistem proteksi galvanik dapat diaplikasikan dipermukaan atau ditanam dalam struktur atau lapisan baru.

Tabel 2.1 Tabel Volta

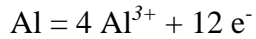
TABEL VOLTA	
$3/2\text{N}_2(\text{g}) + \text{H}^+ + \text{e}^-$ is in equilibrium with $\text{HN}_3(\text{aq})$	-3.09
$\text{Li}^+ + \text{e}^-$ is in equilibrium with $\text{Li}(\text{s})$	-3.0401
$\text{N}_2(\text{g}) + 4\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^-$ is in equilibrium with $2\text{NH}_2\text{OH}(\text{aq}) + 2\text{OH}^-$	-3.04
$\text{Cs}^+ + \text{e}^-$ is in equilibrium with $\text{Cs}(\text{s})$	-3.026
$\text{Rb}^+ + \text{e}^-$ is in equilibrium with $\text{Rb}(\text{s})$	-2.98
$\text{K}^+ + \text{e}^-$ is in equilibrium with $\text{K}(\text{s})$	-2.931
$\text{Ba}^{2+} + 2\text{e}^-$ is in equilibrium with $\text{Ba}(\text{s})$	-2.912
$\text{La}(\text{OH})_3(\text{s}) + 3\text{e}^-$ is in equilibrium with $\text{La}(\text{s}) + 3\text{OH}^-$	-2.90
$\text{Sr}^{2+} + 2\text{e}^-$ is in equilibrium with $\text{Sr}(\text{s})$	-2.899
$\text{Ca}^{2+} + 2\text{e}^-$ is in equilibrium with $\text{Ca}(\text{s})$	-2.868
$\text{Eu}^{2+} + 2\text{e}^-$ is in equilibrium with $\text{Eu}(\text{s})$	-2.812
$\text{Ra}^{2+} + 2\text{e}^-$ is in equilibrium with $\text{Ra}(\text{s})$	-2.8
$\text{Na}^+ + \text{e}^-$ is in equilibrium with $\text{Na}(\text{s})$	-2.71
$\text{La}^{3+} + 3\text{e}^-$ is in equilibrium with $\text{La}(\text{s})$	-2.379
$\text{Y}^{3+} + 3\text{e}^-$ is in equilibrium with $\text{Y}(\text{s})$	-2.372
$\text{Mg}^{2+} + 2\text{e}^-$ is in equilibrium with $\text{Mg}(\text{s})$	-2.372
$\text{ZrO}(\text{OH})_2(\text{s}) + \text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^-$ is in equilibrium with $\text{Zr}(\text{s}) + 4\text{OH}^-$	-2.36
$\text{Al}(\text{OH})_4^- + 3\text{e}^-$ is in equilibrium with $\text{Al}(\text{s}) + 4\text{OH}^-$	-2.33
$\text{Al}(\text{OH})_3(\text{s}) + 3\text{e}^-$ is in equilibrium with $\text{Al}(\text{s}) + 3\text{OH}^-$	-2.31
$\text{H}_2(\text{g}) + 2\text{e}^-$ is in equilibrium with 2H^-	-2.25
$\text{Ac}^{3+} + 3\text{e}^-$ is in equilibrium with $\text{Ac}(\text{s})$	-2.20

TABEL VOLTA	
<i>Be²⁺ + 2e⁻ is in equilibrium with Be(s)</i>	-1.85
<i>U³⁺ + 3e⁻ is in equilibrium with U(s)</i>	-1.66
<i>Al³⁺ + 3e⁻ is in equilibrium with Al(s)</i>	-1.66
<i>Ti²⁺ + 2e⁻ is in equilibrium with Ti(s)</i>	-1.63
<i>ZrO₂(s) + 4H⁺ + 4e⁻ is in equilibrium with Zr(s) + 2H₂O</i>	-1.553
<i>Zr⁴⁺ + 4e⁻ is in equilibrium with Zr(s)</i>	-1.45
<i>Ti³⁺ + 3e⁻ is in equilibrium with Ti(s)</i>	-1.37
<i>TiO(s) + 2H⁺ + 2e⁻ is in equilibrium with Ti(s) + H₂O</i>	-1.31
<i>Ti₂O₃(s) + 2H⁺ + 2e⁻ is in equilibrium with 2TiO(s) + H₂O</i>	-1.23
<i>Zn(OH)₄²⁻ + 2e⁻ is in equilibrium with Zn(s) + 4OH⁻</i>	-1.199
<i>Mn²⁺ + 2e⁻ is in equilibrium with Mn(s)</i>	-1.185
<i>Fe(CN)₆⁴⁻ + 6H⁺ + 2e⁻ is in equilibrium with Fe(s) + 4HCN(aq)</i>	-1.16
<i>Te(s) + 2e⁻ is in equilibrium with Te₂⁻</i>	-1.143
<i>V²⁺ + 2e⁻ is in equilibrium with V(s)</i>	-1.13
<i>Nb³⁺ + 3e⁻ is in equilibrium with Nb(s)</i>	-1.099
<i>Sn(s) + 4H⁺ + 4e⁻ is in equilibrium with SnH₄(g)</i>	-1.07
<i>SiO₂(s) + 4H⁺ + 4e⁻ is in equilibrium with Si(s) + 2H₂O</i>	-0.91
<i>B(OH)₃(aq) + 3H⁺ + 3e⁻ is in equilibrium with B(s) + 3H₂O</i>	-0.89
<i>Fe(OH)₂(s) + 2e⁻ is in equilibrium with Fe(s) + 2OH⁻</i>	-0.89
<i>Fe₂O₃(s) + 3H₂O + 2e⁻ is in equilibrium with 2Fe(OH)₂(s) + 2OH⁻</i>	-0.86
<i>TiO₂⁺ + 2H⁺ + 4e⁻ is in equilibrium with Ti(s) + H₂O</i>	-0.86
<i>2H₂O + 2e⁻ is in equilibrium with H₂(g) + 2OH⁻</i>	-0.8277
<i>Bi(s) + 3H⁺ + 3e⁻ is in equilibrium with BiH₃</i>	-0.8
<i>Zn²⁺ + 2e⁻ is in equilibrium with Zn(Hg)</i>	-0.7628
<i>Zn²⁺ + 2e⁻ is in equilibrium with Zn(s)</i>	-0.7618
<i>Ta₂O₅(s) + 10H⁺ + 10e⁻ is in equilibrium with 2Ta(s) + 5H₂O</i>	-0.75
<i>Cr³⁺ + 3e⁻ is in equilibrium with Cr(s)</i>	-0.74
<i>[Au(CN)₂]⁻ + e⁻ is in equilibrium with Au(s) + 2CN⁻</i>	-0.60
<i>Ta³⁺ + 3e⁻ is in equilibrium with Ta(s)</i>	-0.6
<i>PbO(s) + H₂O + 2e⁻ is in equilibrium with Pb(s) + 2OH⁻</i>	-0.58
<i>2TiO₂(s) + 2H⁺ + 2e⁻ is in equilibrium with Ti₂O₃(s) + H₂O</i>	-0.56
<i>Ga³⁺ + 3e⁻ is in equilibrium with Ga(s)</i>	-0.53
<i>U⁴⁺ + e⁻ is in equilibrium with U³⁺</i>	-0.52
<i>H₃PO₂(aq) + H⁺ + e⁻ is in equilibrium with P(white)[note 1] + 2H₂O</i>	-0.508
<i>H₃PO₃(aq) + 2H⁺ + 2e⁻ is in equilibrium with H₃PO₂(aq) + H₂O</i>	-0.499
<i>H₃PO₃(aq) + 3H⁺ + 3e⁻ is in equilibrium with P(red)[note 1] + 3H₂O</i>	-0.454
<i>Fe²⁺ + 2e⁻ is in equilibrium with Fe(s)</i>	-0.44
<i>2CO₂(g) + 2H⁺ + 2e⁻ is in equilibrium with HOCCOOH(aq)</i>	-0.43
<i>Cr³⁺ + e⁻ is in equilibrium with Cr²⁺</i>	-0.42
<i>Cd²⁺ + 2e⁻ is in equilibrium with Cd(s)</i>	-0.40

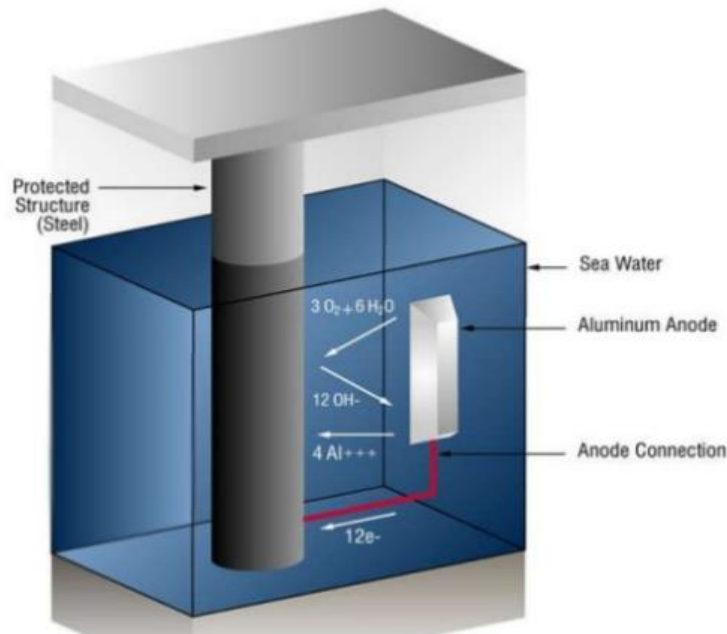
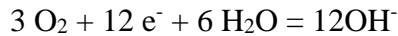
TABEL VOLTA	
<i>GeO₂(s) + 2H⁺ + 2e⁻ is in equilibrium with GeO(s) + H₂O</i>	-0.37
<i>Cu₂O(s) + H₂O + 2e⁻ is in equilibrium with 2Cu(s) + 2OH⁻</i>	-0.360
<i>PbSO₄(s) + 2e⁻ is in equilibrium with Pb(s) + SO₄²⁻</i>	-0.3588
<i>PbSO₄(s) + 2e⁻ is in equilibrium with Pb(Hg) + SO₄²⁻</i>	-0.3505
<i>Eu³⁺ + e⁻ is in equilibrium with Eu²⁺</i>	-0.35
<i>In³⁺ + 3e⁻ is in equilibrium with In(s)</i>	-0.34
<i>Tl⁺ + e⁻ is in equilibrium with Tl(s)</i>	-0.34
<i>Ge(s) + 4H⁺ + 4e⁻ is in equilibrium with GeH₄(g)</i>	-0.29
<i>Co²⁺ + 2e⁻ is in equilibrium with Co(s)</i>	-0.28
<i>H₃PO₄(aq) + 2H⁺ + 2e⁻ is in equilibrium with H₃PO₃(aq) + H₂O</i>	-0.276
<i>V³⁺ + e⁻ is in equilibrium with V²⁺</i>	-0.26
<i>Ni²⁺ + 2e⁻ is in equilibrium with Ni(s)</i>	-0.25
<i>As(s) + 3H⁺ + 3e⁻ is in equilibrium with AsH₃(g)</i>	-0.23
<i>AgI(s) + e⁻ is in equilibrium with Ag(s) + I⁻</i>	-0.15224
<i>MoO₂(s) + 4H⁺ + 4e⁻ is in equilibrium with Mo(s) + 2H₂O</i>	-0.15
<i>Si(s) + 4H⁺ + 4e⁻ is in equilibrium with SiH₄(g)</i>	-0.14
<i>Sn²⁺ + 2e⁻ is in equilibrium with Sn(s)</i>	-0.13
<i>O₂(g) + H⁺ + e⁻ is in equilibrium with HO₂•(aq)</i>	-0.13
<i>Pb²⁺ + 2e⁻ is in equilibrium with Pb(s)</i>	-0.13
<i>WO₂(s) + 4H⁺ + 4e⁻ is in equilibrium with W(s) + 2H₂O</i>	-0.12
<i>P(red) + 3H⁺ + 3e⁻ is in equilibrium with PH₃(g)</i>	-0.111
<i>CO₂(g) + 2H⁺ + 2e⁻ is in equilibrium with HCOOH(aq)</i>	-0.11
<i>Se(s) + 2H⁺ + 2e⁻ is in equilibrium with H₂Se(g)</i>	-0.11
<i>CO₂(g) + 2H⁺ + 2e⁻ is in equilibrium with CO(g) + H₂O</i>	-0.11
<i>SnO(s) + 2H⁺ + 2e⁻ is in equilibrium with Sn(s) + H₂O</i>	-0.10
<i>SnO₂(s) + 2H⁺ + 2e⁻ is in equilibrium with SnO(s) + H₂O</i>	-0.09
<i>WO₃(aq) + 6H⁺ + 6e⁻ is in equilibrium with W(s) + 3H₂O</i>	-0.09
<i>P(white) + 3H⁺ + 3e⁻ is in equilibrium with PH₃(g)</i>	-0.063
<i>Fe³⁺ + 3e⁻ is in equilibrium with Fe(s)</i>	-0.04
<i>HCOOH(aq) + 2H⁺ + 2e⁻ is in equilibrium with HCHO(aq) + H₂O</i>	-0.03
<i>2H⁺ + 2e⁻ is in equilibrium with H₂(g)</i>	0.0000
<i>AgBr(s) + e⁻ is in equilibrium with Ag(s) + Br⁻</i>	+0.07133
<i>S₄O₆²⁻ + 2e⁻ is in equilibrium with 2S₂O₃²⁻</i>	+0.08
<i>Fe₃O₄(s) + 8H⁺ + 8e⁻ is in equilibrium with 3Fe(s) + 4H₂O</i>	+0.085
<i>N₂(g) + 2H₂O + 6H⁺ + 6e⁻ is in equilibrium with 2NH₄OH(aq)</i>	+0.092
<i>HgO(s) + H₂O + 2e⁻ is in equilibrium with Hg(l) + 2OH⁻</i>	+0.0977
<i>Cu(NH₃)₄²⁺ + e⁻ is in equilibrium with Cu(NH₃)₂⁺ + 2NH₃</i>	+0.10

(Greenwood dan Earnshaw, 1997)

Dalam contoh dalam alumunium anoda. Reaksi alumunium adalah:



Dan pada permukaan material terjadi :



Gambar 2.10 Proses perlindungan oleh anoda tumbal

(Trethewey, K.R., dan Chamberlain, 1991)

Dari gambar diatas yang terjadi adalah anoda galvanik dipilih yang lebih aktif bereaksi dari material yang digunakan dalam gambar diatas adalah *reinforced concrete* (beton bertulang). Lalu anoda galvanik akan terkorosi terus menerus sampai harus diganti. Biasanya untuk baja yang menjadi anoda galvaniknya adalah magnesium, alumunium, dan zinc.

Tabel 2.2 Anoda tumbal yang sering digunakan.

Anoda	Weigh kg/amp	Loss dalam	Lifetime (tahun)	Efficiency (%)	Digunakan dalam
Magnesium		8	5	50	RC pipeline
Alumunium		4	10	90	Sea water
Zinc		12	20	95	Coating

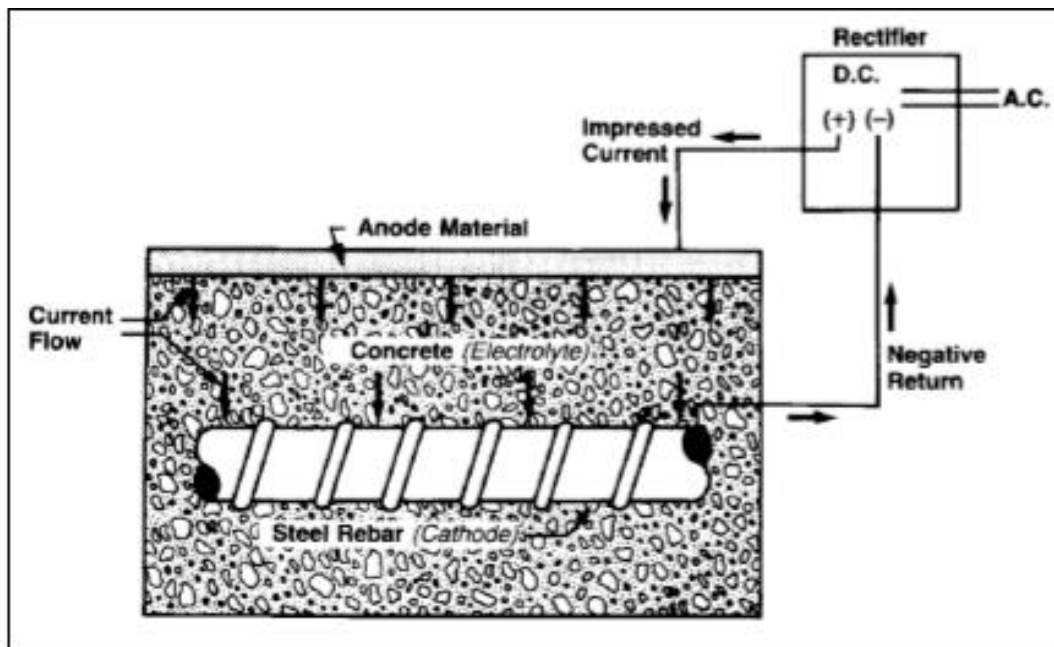
2. *Impressed Current Cathodic Protection (ICCP)*

Dalam metode ini, perbedaan potensial dibuat secara artifisial dengan menerapkan tegangan positif eksternal ke anoda dengan jalur arus balik negatif melalui kabel penghubung. ICCP ini menggunakan sistem arus DC yang akan menjadi penyearah arus elektrokimia. Bahan anoda yang digunakan biasanya anoda inert yang mampu bertahan selama 20 tahun.

Biasanya arus ini diberikan ke anoda yang berupa besi tahan karat dan besi tua yang terkubur dalam tanah.

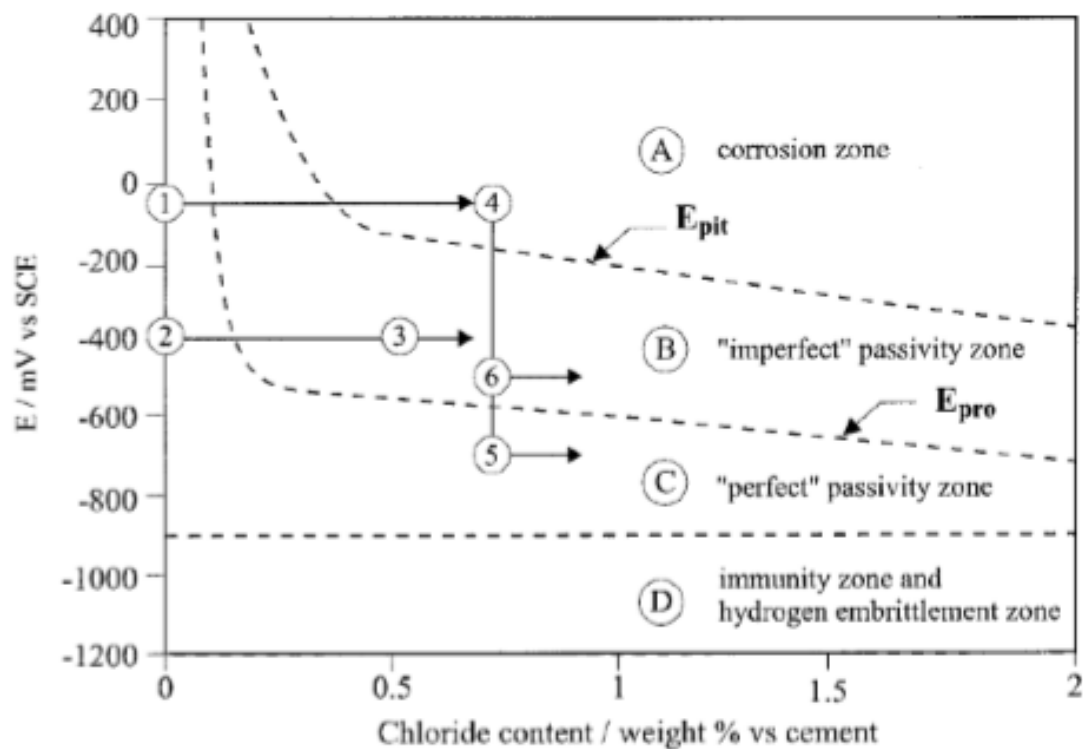
Beton adalah material berpori yang sangat heterogen yang terdiri dari agregat kasar dan halus yang terikat dengan semen terhidrasi. Resistivitas beton, yang bisa mencapai $20.000 \Omega\text{cm}$ sangat tinggi bila dibandingkan dengan media lain (misalnya: air laut memiliki resistivitas $30 \Omega\text{cm}$) (Hayfield, 1986). ICCP banyak digunakan dalam beton karena dapat memberikan tegangan yang relatif tinggi dibandingkan dengan proteksi galvanik menggunakan anoda yang terpasang di permukaan. Sedangkan untuk aplikasi ICCP, logam dan anoda yang dilindungi keduanya perlu di kontak melalui media elektrolitik untuk memungkinkan jalur dan distribusi arus / muatan. Meskipun beton memiliki daya tahan tinggi, ia mampu melewati muatan melalui karena adanya larutan pori yang bertindak sebagai elektrolit.

Pada gambar 11 adalah ilustrasi sederhana skema dari sistem ICCP. Tulangan baja dihubungkan ke terminal negatif dari bagian daya sedangkan terminal positif terhubung ke bahan anoda. Sistem nyata dalam aplikasi praktis biasanya mencakup sejumlah komponen lain seperti *rectifier transformer*, *junction box* dan peralatan pemantau.



Gambar 2.11 Mekanisme *impressed current method*

(Scannel W dan A. Sohaghpurwal, 1993)



Gambar 2.12 Perilaku baja pada beton sebagai fungsi kandungan klorida
(Bertolini dan Pedferri, 1998).

Untuk struktur beton bertulang baru dimana baja masih dalam keadaan pasif, penerapan ICCP disebut 'pencegahan katodik' dimana inisiasi korosi dicegah, sedangkan untuk struktur yang ada yang sudah terkorosi, penerapan ICCP disebut 'perlindungan katodik', dimana korosi baja lebih lanjut dicegah atau dikurangi. Gambar 12 menunjukkan perilaku korosi baja pada beton untuk domain yang berbeda yang didefinisikan dalam hal kandungan potensial dan klorida (Bertolini dan Pedferri, 1998). Gambar 12 menunjukkan:

- Pencegahan katodik (1→2→3): Baja awalnya pasif dan pada penerapan ICCP, potensi diturunkan. Ketika klorida masuk ke dalam beton dan mencapai penguatan, baja bergeser ke zona pasif yang tidak sempurna dimana *pitting* tidak dimulai, namun dapat menyebarluaskan jika dimulai.
- Proteksi katodik untuk mengembalikan kepasifan (4→5): Baja terletak pada zona korosi dimana pembentukan pit dan propagasi terjadi. Menggunakan ICCP, ini dialihkan ke zona pasif, dimana pitting tidak dapat menyebar lebih jauh atau memulai. Potensi yang dibutuhkan untuk mencapai hal ini lebih negatif daripada yang dibutuhkan untuk pasif yang tidak sempurna yang berarti diperlukan arus

proteksi yang lebih tinggi dalam situasi yang sama. Namun, dengan restorasi kepasifan dan pengurangan klorida di dekat baja, arus dapat diturunkan selanjutnya.

- Proteksi katodik untuk mengurangi korosi (4→6): Tingkat korosi dikurangi dengan beralih ke zona pasif yang tidak sempurna. Karena kepasifan tidak sepenuhnya tercapai, persyaratan saat ini umumnya tidak berkurang seiring berjalannya waktu.

Bila potensial diturunkan ke zona D, korosi secara termodinamika tidak mungkin terjadi, sehingga mencegah korosi. Ini membentuk dasar kriteria perlindungan tradisional - 850mV. Secara konkret, efek perlindungan CP dapat dibagi menjadi dua: efek langsung dan jangka panjang (Bertolini dan Pedferri, 1998).

2.2.5 Mekanisme Perhitungan

Perhitungan dan desain sistem katodik proteksi berdasarkan DNV-RP-B401, mempunyai prosedur sebagai berikut:

1. Menentukan luas permukaan yang akan diproteksi.

Penentuan luasan permukaan yang akan diproteksi adalah luasan yang dimana memiliki kemungkinan tingkat korosifitas yang tinggi, atau daerah yang terkena langsung dengan lingkungan sekitar.

2. Menentukan kebutuhan arus proteksi.

Dalam sistem katodik proteksi, densitas arus merupakan fungsi nilai tahanan jenis suatu anoda disesuaikan dengan kondisi lingkungan sekitar serta luas area yang diproteksi. Dalam DNV-RP-B401 dapat menggunakan rumus:

$$I = \left[\frac{SA \times CD \times CB}{1000} \right] \times (1 + SF) \dots\dots\dots (2.1)$$

Dengan : I = Kebutuhan arus proteksi (A).

SA = Luas permukaan yang dilindungi (m²).

CD = Kerapatan arus rata-rata (A/m²).

CB = faktor coating.

SF = Safety Faktor

Tabel 2.3 Densitas arus rata rata untuk beton bertulang

<i>Depth (m)</i>	<i>Tropical</i> ($> 20^{\circ}\text{C}$)	<i>Sub-Tropical</i> ($12-20^{\circ}\text{C}$)	<i>Temperate</i> ($7-12^{\circ}\text{C}$)	<i>Artic</i> ($<7^{\circ}\text{C}$)
0-30	0.0025	0.0015	0.001	0.0008
>30-100	0.002	0.001	0.0008	0.0006
>100	0.001	0.0008	0.0006	0.0006

(DNV-RP-B401 Cathodic Protection Design October 2010, hal 30, table 10-3)

3. Menentukan massa total anoda yang dibutuhkan.

Berat total anoda yang dibutuhkan untuk mempertahankan proteksi katodik selama waktu desain dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini :

$$Ma = \frac{I_c \times t_c \times 8760}{u \times \varepsilon} \quad (2.2)$$

Dengan : Ma = Massa total anoda (kg).

I_c = Kebutuhan arus proteksi (A).

t_f = Umur desain anoda (tahun).

8760 = Konstanta, dari pertahun dijadikan perjam (365 hari x 24 jam).

u = Faktor anoda (DNV-RP-B401).

ε = Efisiensi Elektrokimia (DNV-RP-B401).

Tabel 2.4 Faktor *electrochemical capacity*

<i>Anode Material Type</i>	<i>Environment</i>	<i>Electrochemical Capacity</i> (Ah/kg)	<i>Closed Circuit Potential</i> (V)
<i>Al-based</i>	<i>seawater</i>	2000	-1.05
	<i>sediments</i>	1500	-0.95
<i>Zn-based</i>	<i>seawater</i>	780	-1
	<i>sediments</i>	700	-0.95

(DNV-RP-B401 Cathodic Protection Design October 2010, hal 31, table 10-6)

Tabel 2.5 Faktor anoda

Anode Type				Anode Utilisation Factor
Long slender stand-off				0.9
L > 4 r				
Short slender stand-off				0.85
L < 4 r				
Long flush mounted				0.85
L > 4 r width and L > 4 r thickness				
Short flush mounted,bracelet and other type				0.8

(DNV-RP-B401 Cathodic Protection Design October 2010,hal 31, table 10-8)

4. Menentukan jumlah anoda yang dibutuhkan.

Menentukan jumlah anoda yang dibutuhkan didapatkan dari massa total anoda yang dibutuhkan disesuaikan dengan anoda yang ada di pasaran beserta spesifikasi yang cocok dengan keadaan yang dibutuhkan. Menurut DNV-RP-B401 dapat dicari dengan persamaan:

$$N = \frac{Ma}{Mal} \dots\dots\dots (2.3)$$

N = Jumlah anoda yang dibutuhkan.

Ma = Massa anoda yang dibutuhkan (kg).

Mal = Massa anoda dipasaran 1 buah.

5. Menentukan besar tahanan anoda.

Tahanan anoda didapatkan dari dimensi anoda yang dipakai dengan kondisi lingkungan sekitar, semisal berada di laut maka berbeda dengan tahanan yang berada didalam tanah. Dikarenakan anoda biasanya berbentuk silinder maka tahanan anoda ini dapat dicari dengan persamaan:

$$R_v = \frac{\rho}{2\pi L} \times \left[\ln \left(\frac{8L}{D} \right) - 1 \right] \dots\dots\dots (2.4)$$

Rv = Tahanan anoda (ohm).

L = panjang anoda (m).

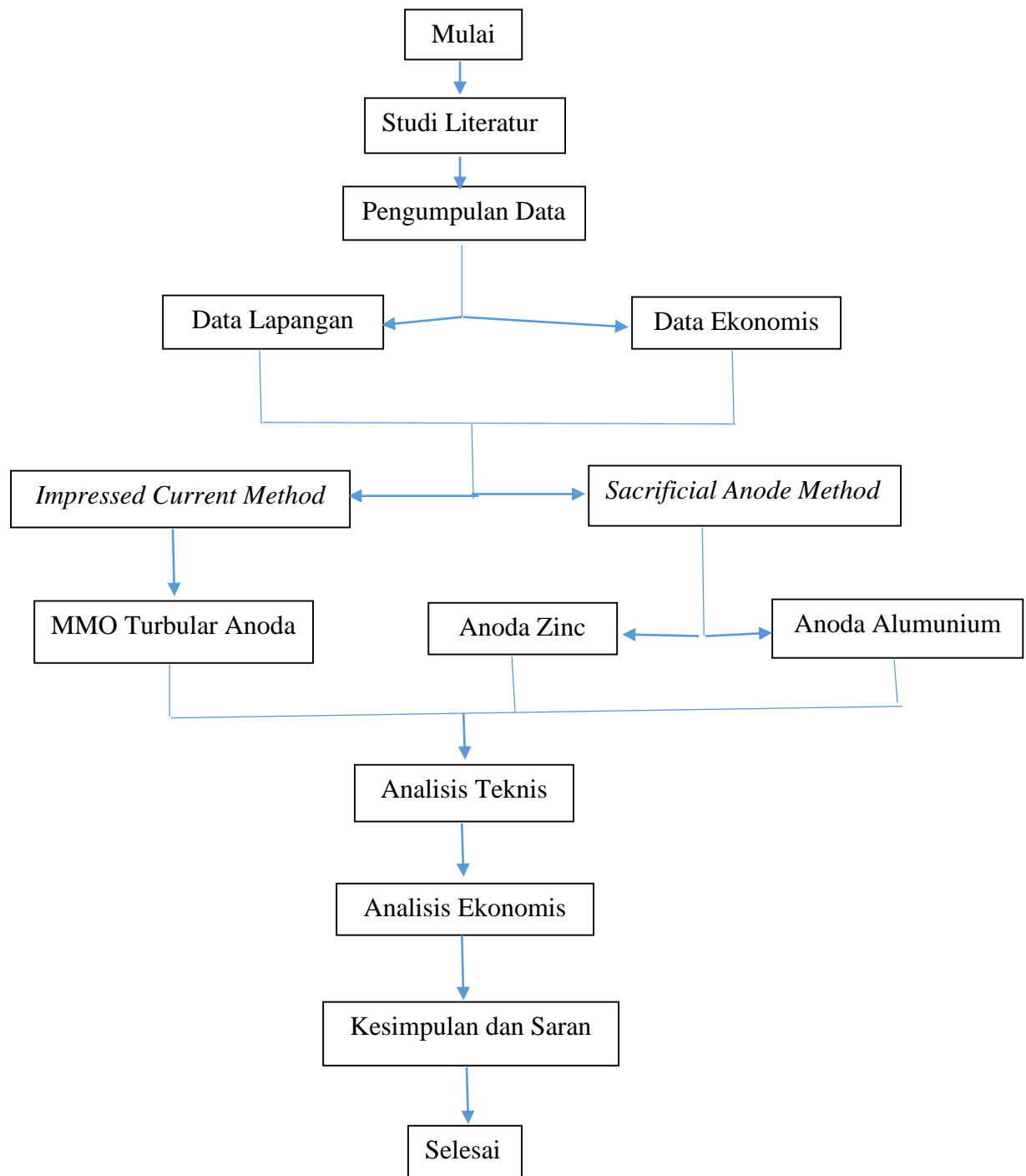
P = Tahanan lingkungan (ohm/m).

D = Diameter anoda (m).

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir



Gambar 3.1 Diagram Alir

3.2 Studi Literatur

Studi literatur mengenai *concrete reinforced steel* dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari beton bertulang tersebut. Mekanisme terjadinya korosi dan perilaku yang terjadi oleh beton bertulang jika terkena lingkungan korosif. Serta sistem katodik proteksi dengan metode SACP dan ICCP, kedua metode ini dipelajari mekanisme perlindungan yang dilakukan dan apa saja yang dibutuhkan untuk menggunakan kedua metode tersebut.

3.3 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan cara meninjau konstruksi yang dilakukan serta perbandingan harga produk yang berada dipasaran. Data data yang telah dikumpulkan meliputi struktur dimensi bangunan, harga dan spesifikasi anoda, dan data lingkungan. Namun keadaan struktur dianggap sempurna atau cacat pengerjaan diabaikan.

3.3.1 Data Lapangan

1. Data Struktur Bangunan

Dermaga container direncanakan dengan ketentuan umum sebagai berikut:

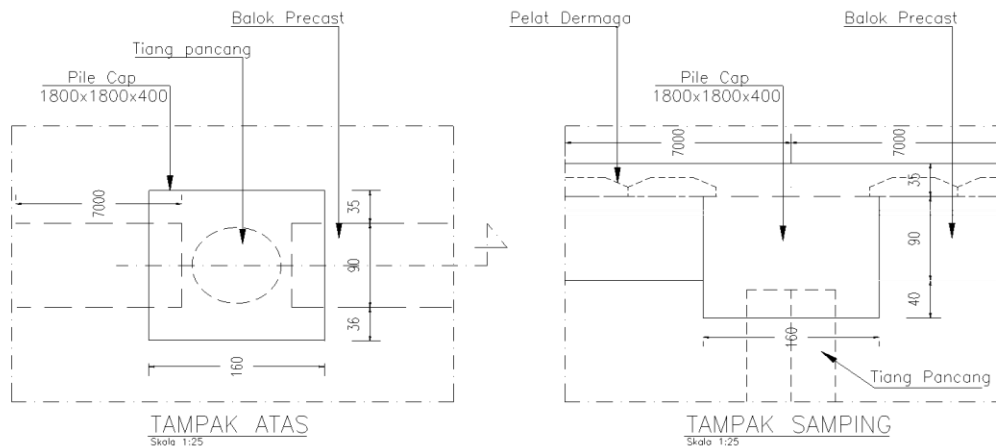
- Fungsi dermaga : dermaga petikemas.
- Dimensi dermaga : 500 m x 50 m.
- Lokasi dermaga : Teluk Lamong, Surabaya, Jawa Timur.
- Elevasi lantai dermaga : + 5.00 m dari LWS.
- Kedalaman rencana : - 14.00 m dari LWS.
- Umur rencana bangunan : 100 tahun.

Dermaga ini terdiri dari lantai beton (slab) dan balok yang menumpu pada tiang baja tegak. Tiang baja direncanakan menggunakan diameter yang berbeda untuk tiap axis

- Axis jalur container crane (E dan I) : SPP diameter 1016 mm, $t = 19$ mm.
- Axis lainnya (A,B,C,D,F,G,H) : SPP 812,8 mm, $t = 14$ mm.

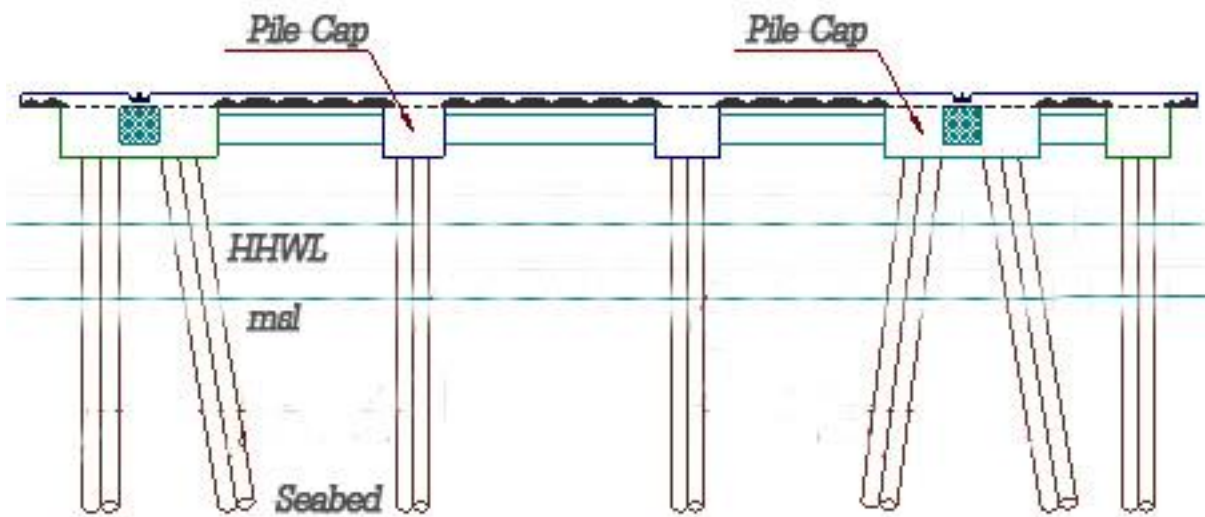
Tabel 3.1 Tabel Struktur Dermaga Teluk Lamong

DATA RENCANA PEMBANGUNAN DERMAGA TELUK LAMONG		
No	Keterangan	
1	Panjang Dermaga	534 m
2	Lebar Dermaga	50 m
3	Tiang Pancang	810 buah
	Tiang Pancang 1 meter	180 buah
	Tiang Pancang 0.8 meter	630 buah
4	Balok Dermaga	1521 buah
	Balok Container Crane	178 buah
	Balok Memanjang	623 buah
	Balok Melintang 1	360 buah
	Balok Melintang 2	360 buah
5	Pile Cap	810 buah
6	Tipe Pelat Lantai	<i>monolite</i>
7	Jumlah Fender	45 buah
8	Jumlah Bollard	23 buah
9	Jarak antar Fender	12 m
10	Elevasi Lantai Dermaga	5 m
11	Kedalaman Pemancangan	48 m
12	Panjang Balok CC	4 m
	Panjang Balok Memanjang	4 m
	Panjang Balok Melintang 1	3.75 m
	Panjang Balok Melintang 2	3.25 m
13	Lebar Balok CC	1.2 m
	Lebar Balok Memanjang	0.9 m
	Lebar Balok Melintang 1	0.85 m
	Lebar Balok Melintang 2	0.9 m
14	Lebar Pile Cap	2 m
	Tinggi Pile Cap	1.45 m
	Panjang Pile Cap	2 m
15	Tebal Pelat Lantai	0.45 m
	Luas Pelat Lantai	25418,4 m ²



Gambar 3.2 Desain Pile Cap

2. Elevasi

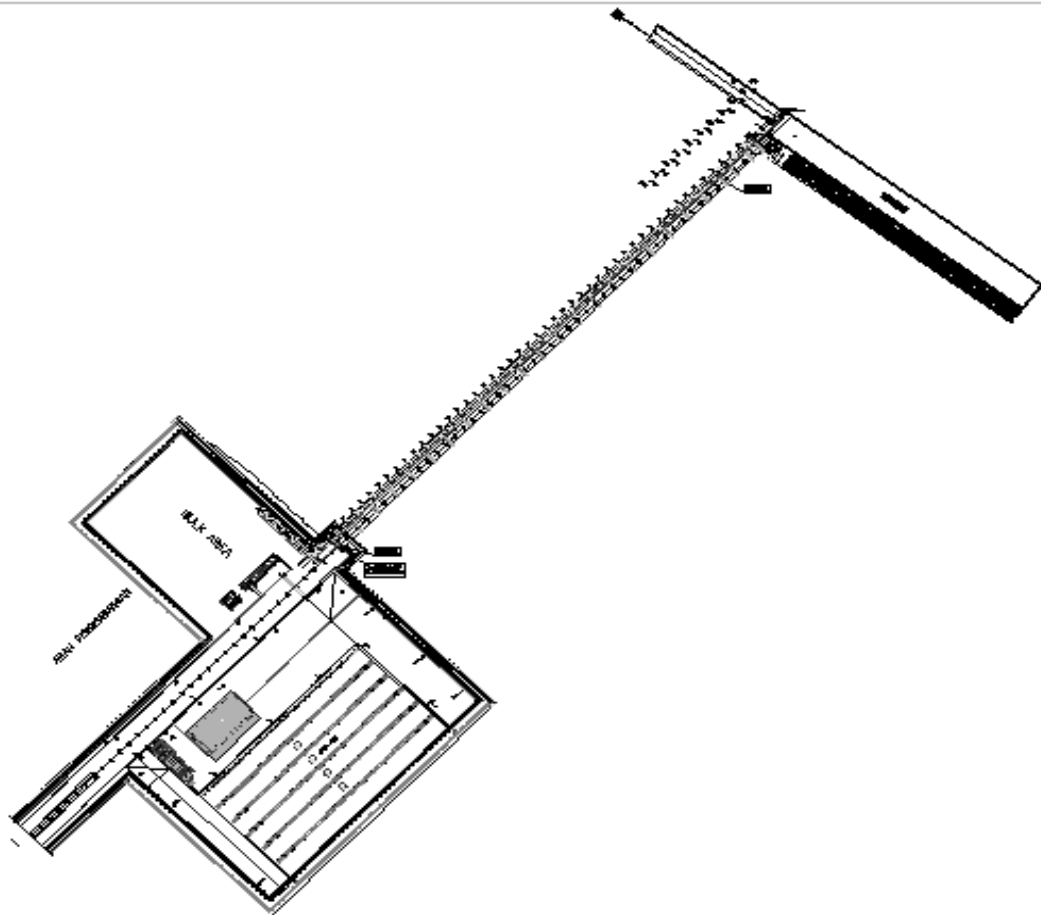


Gambar 3.3 Desain Elevasi Struktur

Elevasi struktur ditunjukkan oleh gambar dengan indeks sebagai berikut:

- HHWL (Highest High Water Level) : + 2,70 m
- MSL (Mean Sea Level) : \pm 0,00 m
- LLWL (Lowest Low Water Level) : \pm 0,00 m
- Seabed : - 14,00 m
- Elevasi deck : + 5,00 m

Dan yang dipakai dalam pemodelan adalah MSL \pm 0,00 m.



Gambar 3.4 Gambar Pembangunan Dermaga

3. Data Tanah

Data penyelidikan pada lokasi rencana dermaga tersebut menunjukkan bahwa kondisi lapisan tanah eksisting pada umumnya homogen berupa tanah lempung dengan konsistensi yang berbeda. Kondisi lapisan tanah pada daerah permukaan adalah lapisan tanah sangat lunak hingga lunak dengan nilai N-SPT rata – rata 1 hingga kedalaman lebih kurang 20 m dari permukaan. Pondasi dalam atau pondasi tiang biasa digunakan untuk memastikan suatu bangunan berada dalam kondisi aman. Survei tahanan jenis tanah merupakan langkah awal sebelum memasuki tahap rancang bangun sistem proteksi katodik.

Proses pengukuran mensyaratkan lokasi survei berupa tanah datar yang cukup lapang. Pada tiap lokasi dilakukan tiga kali pengukuran dengan variasi jarak antar pin 5 feet (≈ 1.5 meter); 10 feet (≈ 3 meter); 20 feet (≈ 6 meter). Jarak lokasi pengukuran satu dengan yang lain minimal terpisah sejauh 50 feet (15.24 meter).

Nilai tahanan jenis dihitung sesuai rumus berikut :

$$\rho = 2 \cdot \pi \cdot a \cdot R \dots\dots\dots(5) \text{ (Sulistijono, 1999)}$$

Dengan:

ρ = tahanan jenis tanah (Ohm-cm).

a = jarak antar pin (cm).

R = hambatan yang terukur (Ohm).

4. Profil Baja

Untuk baja profil, plat baja dan material baja struktur lainnya mengacu kepada JIS G3101 atau ASTM A36 dengan tegangan leleh minimum 2400 kg/cm². Dua macam tiang pancang yang digunakan dalam pelaksanaan proyek dermaga:

- SPP diameter 1016 mm, t = 19 mm, L = 24 m dan t = 14 mm, L = 46 untuk tiang yang berada di bawah balok crane (jalur crane)
- SPP diameter 812.8, t = 14 mm, L = 24 m dan t = 12 mm, L = 44 m untuk tiang di posisi selain balok crane (jalur lainnya).

5. Selimut Beton


Penentuan selimut beton berdasarkan BS 5400-4: 1990. Selimut beton ini penting untuk dipenuhi mengingat kebutuhan penulangan sangat dipengaruhi oleh jarak antara titik pusat tulangan utama terhadap sisi depan. Selimut ini juga diperhitungkan sebagai perlindungan terhadap korosi air laut.

Tabel 3.2 Tabel Penulangan

Tulangan diameter < 13 (polos)	fy =	2,400 kg/cm ²
	Es =	2,100,000 kg/cm ²
Tulangan diameter > 13 (deformed)	fy =	3,900 kg/cm ²
	Es =	2,100,000 kg/cm ²

3.3.2 Data Ekonomis dan Spesifikasi Anoda

1. Data Anoda Zinc



LEMBAGA ILMU PENGETAHUAN INDONESIA
(INDONESIAN INSTITUTE OF SCIENCES)
PUSAT PENELITIAN METALURGI DAN MATERIAL

Kampus PUSPTIK - Gedung Sate 15114
Telp. 021 - 764011, 764291 Fax. 021 - 764803
website: <http://www.iainp.org> e-mail: info@iainp.org

LAPORAN ANALISIS

Report of Analysis

Laporan No.

: B-19010PKAUP.04/VIII/2015

Report for

: PT. WIRA MITRATAMA

Dibuat Untuk

: Executed for

Metode Uji

: SPARK OES

Test Method

: Zinc

Komoditi

: Zinc

Material

: Zinc

Tanggal Terima Specimen

: 14 Agustus 2015

Date of Specimen Receiving

: 14 Agustus 2015

Hasil Pengujian

: Zinc

Test Result

: Zinc

Unsur Element	Kadar% Content%
Pb	0,012
Al	0,725
Cu	0,018
Co	0,001
Fe	0,036
Ni	0,006
Zn	99,20

Keterangan

: Sesuai Dengan Kendali 221/KSPNBP/VI/2015


Conclusion

: Sesuai Dengan Kendali 221/KSPNBP/VI/2015

Tangerang Selatan, 10 Agustus 2015

An. Kepala Pusat Penelitian Metalurgi dan Material - LPI

Ketua Bidang Pengolahan dan Dieminasi Hasil Penelitian



Dr. Ika Kartika

NP. 19720125 196803 2 001

* Laporan ini bersifat rahasia sesuai undang-undang

This report refers to the secret of security only

* Laporan ini hanya bersifat rahasia sesuai undang-undang yang berlaku dan tidak boleh disebarluaskan

This report may be reproduced in whole or in part, without permission from Research Center for Metallurgy

Zinc Anode (Welded Type)					
Anode Dimension (mm)		Gross weight (Kg)	Price(IDR)/kg		Price/Item
150 x 70 x 20		2	IDR 50.000,00	IDR 100.000,00	
200 x 100 x 20		3	IDR 50.000,00	IDR 150.000,00	
200 x 100 x 30		4,2	IDR 50.000,00	IDR 210.000,00	
300 x 150 x 20		6,5	IDR 50.000,00	IDR 325.000,00	
300 x 150 x 25		8	IDR 50.000,00	IDR 400.000,00	
300 x 150 x 30		9,5	IDR 50.000,00	IDR 475.000,00	
300 x 150 x 40		12	IDR 50.000,00	IDR 600.000,00	
300 x 150 x 50		14,6	IDR 50.000,00	IDR 730.000,00	

Zinc Anode (Bolted type)					
Anode Dimension (mm)		Gross weight (Kg)	Price(IDR)/kg		Price/Item
150 x 70 x 20		1,5	IDR 53.000,00	IDR 79.500,00	
200 x 100 x 20		2,5	IDR 53.000,00	IDR 132.500,00	
200 x 100 x 30		3,6	IDR 53.000,00	IDR 190.800,00	
200 x 100 x 40		4,2	IDR 53.000,00	IDR 222.600,00	
300 x 150 x 20		6	IDR 53.000,00	IDR 318.000,00	
300 x 150 x 25		7,3	IDR 53.000,00	IDR 386.900,00	
300 x 150 x 30		8,3	IDR 53.000,00	IDR 439.900,00	
300 x 150 x 40		11	IDR 53.000,00	IDR 583.000,00	
300 x 150 x 50		13,8	IDR 53.000,00	IDR 731.400,00	
300 x 200 x 40		16,5	IDR 53.000,00	IDR 874.500,00	
300 x 200 x 50		20,4	IDR 53.000,00	IDR 1.081.200,00	
305 x 76 x 56		4,1	IDR 53.000,00	IDR 217.300,00	
456 x 102 x 53		12	IDR 53.000,00	IDR 636.000,00	

Gambar 3.5 Data anoda zinc (Sumber LIPI)

2. Data Anoda Aluminium

LEMBAGA ILMU PENGETAHUAN INDONESIA
(INDONESIAN INSTITUTE OF SCIENCES)
PUSAT PENELITIAN METALURGI DAN MATERIAL

Kampus PUSPTIK - Gedung Sate 15114
Telp. 021 - 764011, 764291 Fax. 021 - 764803
website: <http://www.iainp.org> e-mail: info@iainp.org

LAPORAN ANALISIS


Report of Analysis

Laporan No. : B-19010PKAUP.04/VIII/2015
Report for : PT. WIRA MITRATAMA
Requested for : SPARK OES
Metode Uji : SPARK OES
Test Method :
Komoditi : Zinc
Material :
Tanggal Terima Specimen : 14 Agustus 2015
Date of Specimen Receiving :
Hasil Pengujian :
Test Result :

Unsur Element	Kadar% Content%
Pb	0,012
Al	0,725
Cu	0,018
Co	0,001
Fe	0,036
Ni	0,006
Zn	99,20

Keterangan : Sesuai Dengan Kendali 221/KSPNBP/VI/2015
Conclusion :

Tangerang Selatan, 10 Agustus 2015
An. Kepala Pusat Penelitian Metalurgi dan Material - LPI
Ketua Bidang Pengolahan dan Dieminasi Hasil Penelitian


Dr. Ika Kartika
NP. 19720125 196803 2 001

* Laporan ini bersifat rahasia sesuai undang-undang

This report refers to the secret of security only

* Laporan ini hanya bersifat rahasia sesuai undang-undang yang berlaku dan tidak boleh disebarluaskan

This report may be reproduced in whole or in part, without permission from Research Center for Metallurgy

Aluminium Anode (Welded Type)

Anode Dimension (mm)	Gross weight (Kg)	Price(IDR)/kg	Price/Item
150 x 70 x 20	0,68	IDR 52.000,00	IDR 35.360,00
200 x 100 x 20	1,4	IDR 52.000,00	IDR 72.800,00
200 x 100 x 30	1,73	IDR 52.000,00	IDR 89.960,00
300 x 150 x 20	3	IDR 52.000,00	IDR 156.000,00
300 x 150 x 25	3,5	IDR 52.000,00	IDR 182.000,00
300 x 150 x 30	4	IDR 52.000,00	IDR 208.000,00
300 x 150 x 40	5	IDR 52.000,00	IDR 260.000,00
300 x 150 x 50	6	IDR 52.000,00	IDR 312.000,00

Aluminium Anode (Bolted type)

Anode Dimension (mm)	Gross weight (Kg)	Price(IDR)/kg	Price/Item
150 x 70 x 20	0,5	IDR 54.000,00	IDR 27.000,00
200 x 100 x 20	1,1	IDR 54.000,00	IDR 59.400,00
200 x 100 x 30	1,45	IDR 54.000,00	IDR 78.300,00
200 x 100 x 40	1,8	IDR 54.000,00	IDR 97.200,00
300 x 150 x 20	2,5	IDR 54.000,00	IDR 135.000,00
300 x 150 x 25	2,9	IDR 54.000,00	IDR 156.600,00
300 x 150 x 30	3,3	IDR 54.000,00	IDR 178.200,00
300 x 150 x 40	4,6	IDR 54.000,00	IDR 248.400,00
300 x 150 x 50	5,5	IDR 54.000,00	IDR 297.000,00
300 x 200 x 40	6,2	IDR 54.000,00	IDR 334.800,00
300 x 200 x 50	7,4	IDR 54.000,00	IDR 399.600,00

Gambar 3.6 Data anoda aluminium (Sumber LIPI)

3. Data Anoda *MMO Tubular*

TELPRO TUBULAR ANODES DATA SHEET

SEAWATER	CURRENT OUTPUT	DESIGN LIFE
3/4" x 48" (19mm x 1,220mm)	45 Amps	20 years
1" x 19.7" (25mm x 500mm)	25 Amps	20 years
1" x 39.4" (25mm x 1,000mm)	50 Amps	20 years
1.25" x 48" (32mm x 1,220mm)	75 Amps	20 years
ENVIRONMENT	MAX CURRENT DENSITY	LIFETIME
CARBONACEOUS BACKFILL	4.6A/ft ² (50A/m ²)	20 years
CALCINED PETROLEUM BACKFILL	9.3A/ft ² (100A/m ²)	20 years
FRESHWATER	9.3A/ft ² (100A/m ²)	20 years
BRACKISH WATER	9.3-27.8A/ft ² (100-300A/m ²)	20 years
SEAWATER	55.8A/ft ² (600A/m ²)	20 years
Lifetimes stated are nominal, we can supply Amps / life different to stated standards on request		

Gambar 3.7 Data MMO tubular anoda (Sumber katalog TELPRO)

PERFORMANCE DATA AND RATINGS		
COKE, SOIL AND FRESH WATER	CURRENT OUTPUT	DESIGN LIFE
3/4" x 48" (19mm x 1,220mm)	7 Amps	20 years
1" x 19.7" (25mm x 500mm)	4 Amps	20 years
1" x 39.4" (25mm x 1,000mm)	8 Amps	20 years
1" x 48" (25mm x 1,220mm)	3.5 Amps *	20 years
1" x 60" (25mm x 1,500mm)	4.5 Amps *	20 years
1.25" x 48" (32mm x 1,220mm)	12 Amps	20 years
* Current outputs are de-rated for use in metallurgical coke breeze - 50Am ²		

Gambar 3.8 Data MMO tubular anoda (Sumber katalog TELPRO)

3.4 Analisis Teknis

Data-data yang dikumpulkan diolah menurut DNV-RP-B401 tahun 2010 tentang *cathodic protection design* dengan standart yang digunakan sesuai dengan data-data yang dikumpulkan baik dari konstanta secara lingkungan, suhu, dan jenis bahan yang digunakan.

3.5 Analisi Ekonomis

Setelah analisis teknis dilakukan akan mendapatkan hasil yang berupa banyaknya anoda yang diperlukan, peralatan lainnya yang dibutuhkan seperti kabel dan sebagainya, serta biaya perawatan berkala yang harus dilakukan. Dari hasil analisis ini akan mengambil hasil yang paling efisien dan ekonomis dari keseluruhan umur proteksi.

3.6 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan yang dapat diberikan berupa data analisis teknis dan analisis ekonomis, untuk menentukan metode proteksi katodik yang cocok dengan keadaan lingkungan dan struktur bangunan tersebut.

BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Data

4.1.1 Analisis Korosifitas Tanah

Survei tahanan jenis tanah dilaksanakan sesuai standar ASTM G 57-78 atau IEEE Standard 81 yang dikenal sebagai *Wenner Four-Pins Method*. Dibanding metode *Two-Terminals*, metode Wenner mampu mengukur sejumlah besar sample tanah dengan tingkat lapisan tanah makin dalam. Adapun tujuan pelaksanaan survei resistivitas tanah ini adalah :

- a. Menentukan nilai tahanan jenis tanah pada lokasi pemasangan anoda groundbed sehingga dapat diperoleh total hambatan serendah mungkin,
- b. Menentukan besar densitas arus yang diperlukan pada perhitungan total arus proteksi.

Tabel 4.1 Data Tanah Gresik

Jarak Antar Pin (cm)	Tahanan (ohm)	Tahanan Jenis Tanah (ohm/cm)	Kondisi Keadaan Tanah
150	0.339	319.338	Tanah liat coklat kekuningan lembab
300	0.104	195.936	
600	0.035	131.88	

(Sulistijono, 1999)

Maka rata-rata tahanan jenis tanahnya dapat dicari dengan mencari rata-rata dari tahanan yang telah didapat.

$$\text{Tahanan Jenis Tanah rata-rata} = \frac{\rho_1 + \rho_2 + \rho_3}{\text{Banyaknya Pengukuran}} \dots\dots\dots (4.1)$$

$$\text{Tahanan Jenis Tanah rata-rata} = \frac{319.34 + 195.94 + 131.88}{3} = 215.72 \text{ ohm/cm.}$$

4.1.2 Pemilihan Proteksi Katodik

Proteksi katodik dibagi menjadi 2 cara yaitu anoda tumbal dan *impressed current*, untuk menghitung tersebut maka dibutuhkan:

- Menentukan luas permukaan yang akan diproteksi.
- Menentukan kebutuhan arus proteksi
- Menentukan massa total anoda yang dibutuhkan.
- Menentukan jumlah anoda yang dibutuhkan
- Menentukan besar tahanan anoda.
- Menentukan peletakan anoda.

1. Luas Permukaan yang Diproteksi

Menurut data lapangan, pile terbagi 2 jenis diameter yang berbeda. Yang pertama berdiameter 1.02 meter dan kedua 0.81 meter dengan jumlah yang berbeda tetapi kedalaman pemancangan keduanya adalah 48 meter dari MSL (*Mean Sea Level*). Lalu elevasi dermaga dengan mempunyai kedalaman hingga dasar laut 14 m dan pada daerah HHWL (*Highest High Water Level*) elevasinya sekitar 2.7 meter dari MSL sedangkan hingga ke deck memiliki elevasi 5 meter.

Tabel 4.2 Data Pile

Data Pile	Diameter	Jumlah
Pile 1	1.02 m	180
Pile 2	0.81 m	630
Jumlah		810

Tabel 4.3 Tinggi area di air

H rencana	HHSL
14.00 m	2,70 m
H proteksi air	16,70 m

Tabel 4.4 Tinggi area dalam tanah

Kedalaman pemancangan
48 m – H rencana
34 m

Maka luas area yang diproteksi dapat dicari dengan persamaan rumus luasan selimut silinder. Dari luasan silinder dikalikan jumlah masing masing pile.

$$A = 2\pi x d x l \dots\dots\dots (4.2)$$

Dengan: A = Luas Permukaan (m²)

d = diameter pile (m)

l = Tinggi area yang diproteksi (m)

Tabel 4.5 Luas area di air

Luas area di air		Total (m ²)
Luas Pile 1	53.28	9589,86
Luas Pile 2	42.58	26825,18
		36415,04

Tabel 4.6 Luas area di dalam tanah

Luas area di dalam tanah (m ²)		Total (m ²)
Luas Pile 1	108.46816	19524,2688
Luas Pile 2	86.68912	54614,1456
		74138,4144

2. Arus yang dibutuhkan untuk memproteksi

Dalam sistem katodik proteksi, densitas arus merupakan fungsi nilai tahanan jenis suatu anoda disesuaikan dengan kondisi lingkungan sekitar serta luas area yang diproteksi. Dalam DNV-RP-B401 dapat menggunakan rumus:

$$I = \left[\frac{SA \times CD \times CB}{1000} \right] \times (1 + SF) \dots\dots\dots (2.1)$$

Untuk : I = Kebutuhan arus proteksi (A).

SA = Luas permukaan yang dilindungi (m²).

CD= Kerapatan arus rata-rata (A/m²). (Dilihat dari tabel 2 hal. 13)

CB = faktor coating (karena tidak ada data coating maka =1)

SF = Safety Faktor (0.25)

Tabel 4.7 Arus yang dibutuhkan di air

Arus yang dibutuhkan di air (A)	
Luasan 1	23,97
Luasan 2	67,06
Total	91,04

Tabel 4.8 Arus yang dibutuhkan di tanah

Arus yang dibutuhkan di tanah (A)	
Luasan 1	48,81
Luasan 2	136,53
Total	185,34

Faktor keamanan turut dilibatkan dalam perhitungan untuk memberikan penyesuaian terhadap penambahan luas permukaan karena adanya suaian (fitting), lengkungan (bending) dan lain sebagainya. Dari tabel diatas dapat diketahui I (Arus yang dibutuhkan total) = 276.38 A.

4.1.3 *Sacrificial Anode* (Anoda Tumbal)

1. Berat total anoda yang dibutuhkan

Untuk mempertahankan proteksi katodik selama waktu desain dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini :

$$Ma = \frac{I_c \times t_c \times 8760}{u \times \varepsilon} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dengan : Ma = Massa total anoda (kg).

Ic = Kebutuhan arus proteksi (A).

tf = Umur desain anoda (1 tahun).

8760 = Konstanta, dari pertahun dijadikan perjam (365 hari x 24 jam).

u = Faktor anoda (Tabel 4 hal. 14).

ε = Efisiensi Elektrokimia (Tabel 3 hal 14).

Dari persamaan diatas dapat disimpulkan bahwa berat anoda yang dibutuhkan untuk memproteksi kaki dermaga teluk lamong ini dengan anoda zinc sebesar 3880 kg. sedangkan dengan anoda alumunium sebesar 1513,2 kg.

4. Menentukan jumlah anoda yang dibutuhkan

Menentukan jumlah anoda yang dibutuhkan didapatkan dari massa total anoda yang dibutuhkan disesuaikan dengan anoda yang ada di pasaran beserta spesifikasi yang cocok dengan keadaan yang dibutuhkan. Menurut DNV-RP-B401 dapat dicari dengan persamaan:

$$N = \frac{Ma}{Mal} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dengan:

N = Jumlah anoda yang dibutuhkan.

Ma = Massa anoda yang dibutuhkan (kg).

Mal = Massa anoda dipasaran 1 buah.

Dari gambar 10 dan halaman 11 yang terdapat pada halaman 22 menunjukan anoda alumunium dan zinc memiliki dimensi berbeda dengan massa yang berbeda pula. Akan tetapi anoda welded sangat cocok untuk kaki dermaga. Maka pertimbangan yang dapat diambil terlihat dalam tabel dibawah ini.

Tabel 4.9 Harga dan spesifikasi anoda *Alumunium*

Anoda <i>Alumunium</i>					
Dimensi Anoda	Berat anoda	Harga/satuan	Ma	N	Biaya
150x70x20	0.68	IDR 35,360	1513.200472	2225	IDR 78,676,000
200x100x20	1.4	IDR 72,800	1513.200472	1081	IDR 78,696,800
200x100x30	1.73	IDR 89,960	1513.200472	875	IDR 78,715,000
300x150x20	3	IDR 156,000	1513.200472	504	IDR 78,624,000
300x150x25	3.5	IDR 182,000	1513.200472	432	IDR 78,624,000
300x150x30	4	IDR 208,000	1513.200472	378	IDR 78,624,000
300x150x40	5	IDR 260,000	1513.200472	303	IDR 78,780,000
300x150x50	6	IDR 312,000	1513.200472	252	IDR 78,624,000

Tabel 4.10 Harga dan spesifikasi anoda zinc

Anoda Zinc					
Dimensi Anoda	Berat anoda	Harga/satuan	Ma	N	Biaya
150x70x20	2	IDR 100,000	3880.00121	1940	IDR 194,000,000
200x100x20	3	IDR 150,000	3880.00121	1293	IDR 193,950,000
200x100x30	4.2	IDR 210,000	3880.00121	924	IDR 194,040,000
300x150x20	6.5	IDR 325,000	3880.00121	597	IDR 194,025,000
300x150x25	8	IDR 400,000	3880.00121	485	IDR 194,000,000
300x150x30	9.5	IDR 475,000	3880.00121	408	IDR 193,800,000
300x150x40	12	IDR 600,000	3880.00121	323	IDR 193,800,000
300x150x50	14.6	IDR 730,000	3880.00121	266	IDR 194,180,000

Dari tabel diatas harus dilakukan inspeksi anoda setiap setahun sekali. dengan asumsi anoda yang akan dipasang bersamaan akan habis pada umur 3 tahun setelah pemasangan. Maka dapat dilihat dari tabel dibawah ini biaya kedua instalasi dan *maintenance*.

Tabel 4.11 Biaya Perawatan dan Instalasi Anoda Zinc

Keterangan Anoda Zinc			Harga per-satuan	Harga total
Instalasi	Anoda yang dibutuhkan	323	IDR 600,000	IDR 193,800,000.00
	Pengelasan	323	500000	IDR 161,500,000.00
Total Instalasi				IDR 355,300,000.00
<i>Maintenance</i>	Penyelam	4	IDR 8,000,000	IDR 32,000,000
	sewa alat selam	4	IDR 10,000,000	IDR 40,000,000
Total Biaya Perawatan Pertahun				IDR 72,000,000

Tabel 4.12 Biaya Perawatan dan Instalasi Anoda Alumunium

Keterangan			Harga per-satuan	Harga total
Instalasi	Anoda yang dibutuhkan	IDR 252	IDR 312,000	IDR 78,624,000
	Pengelasan	IDR 252	IDR 500,000	IDR 126,000,000
Total Instalasi				IDR 204,624,000
<i>Maintenance</i>	Penyelam	IDR 4	IDR 8,000,000	IDR 32,000,000
	sewa alat selam	IDR 4	IDR 10,000,000	IDR 40,000,000
Total Biaya Perawatan Pertahun				IDR 72,000,000

4.1.4 *Impressed Current Method*

Dalam metode ini, perbedaan potensial dibuat secara artifisial dengan menerapkan tegangan positif eksternal ke anoda dengan jalur arus balik negatif melalui kabel penghubung. ICCP ini menggunakan sistem arus DC yang akan menjadi penyearah arus elektrokimia. Bahan anoda yang digunakan biasanya anoda inert yang mampu bertahan selama 20 tahun. Biasanya arus ini diberikan ke anoda yang berupa besi tahan karat dan besi tua yang terkubur dalam tanah.

1. Tipe Anoda

- Material : *Mixed Metal Oxide (MMO) coated titanium*
- Tipe : *Titanium* (ASTM B338 Grade I / Grade II)
- Bentuk : *tubular*
- Dimensi : Panjang 32 mm = 0,32 m
Diameter 1,22 mm = 0,122 m
Tebal 0,1 mm = 0,001 m
- Berat : 0.30 kg/m (± 0.070 kg/m tanpa kabel)
- Masa : 20 tahun
- Densitas : 150 A/m²
- Arus : 12 Amp

2. Jumlah Anoda Yang Diperlukan

Kuantitas anoda yang diperlukan dapat dihitung berdasarkan arus keluaran maksimal anoda (I_o) sesuai rumus berikut :

$$I_o = SA \times I_D \dots\dots\dots (4.3)$$

Dengan : I_D = densitas arus anoda (A/m²)
 SA = luas permukaan anoda (m²)
 $I_o = \pi \times p \times d \times 600$
 $I_o = 3,14 \times 0,32 \times 0,122 \times 150$
 $I_o = 18,38$ A/m²

$$N_{min} = \frac{It}{I_o} \dots\dots\dots (4.4)$$

Dengan: N_{min} = Jumlah anoda minimal
 I_t = Arus yang dibutuhkan
 I_o = Arus per anoda
 N_{min} = 15 buah

$$N = N_{min} \times (1 \times SF) \dots\dots\dots (4.5)$$

Dengan: N = Jumlah anoda
 N_{min} = Jumlah anoda minimal
 SF = faktor keselamatan (0,17)
 N = 18 buah

$SF2 = 17\%$ umumnya digunakan pada perhitungan jumlah anoda untuk mengantisipasi terjadinya perubahan tahanan. Anoda-anoda tersebut akan ditanam secara vertikal dalam tiga deep well groundbed dengan jumlah yang sama.

3. Pengecekan Jumlah Anoda

Pengecekan dapat dilakukan dengan cara membandingkan suplai arus per unit anoda terhadap arus keluaran maksimal anoda yang diijinkan, yang telah diperoleh dari hasil perhitungan pada sub bab sebelumnya.

$$J = \frac{I_t}{N} \dots\dots\dots (4.6)$$

Dengan: J = Suplay arus per unit anoda (A/anoda)
 N = Jumlah anoda
 I_t = Arus yang dibutuhkan (A)
 J = 15,71 A/anoda

Pengecekan dilakukan dengan cara membandingkan luas aktif permukaan anoda yang menyentuh lingkungan dengan luasan anoda minimal yang diperbolehkan pada jangka waktu proteksi.

$$SA_{min} = \frac{J}{ID} \dots\dots\dots (4.7)$$

Dengan SA_{min} = luas permukaan anoda minimal (m^2)
 J = Suplay arus per unit anoda (A/anoda)
 ID = Densitas anoda (A/m^2)
 SA_{min} = 0.104 m^2
 SA = 0.122 m^2

Hasil perbandingan menunjukkan luas permukaan anoda yang diperbolehkan lebih kecil terhadap luasan aktif anoda. Dapat disimpulkan tipe dan ukuran anoda MMO tubular dari pabrikan SAP memadai dalam menyuplai arus yang dibutuhkan untuk memproteksi kaki dermaga dari ancaman korosi.

4. Tahanan

- Tahanan anoda dalam air dihitung dengan

$$Ra = \frac{Ca}{2\pi l} \left[\ln \frac{2l}{r} - 1 \right] \quad (4.8)$$

Dengan Ra = Tahanan anoda dalam air (ohm)
 l = Panjang anoda (m)
 Ca = Tahanan jenis air (ohm/m)
 r = Jari-jari anoda (m)
 Ra = 2.82 ohm

- Tahanan anoda dalam tanah dihitung dengan

$$Rt = \frac{0.00521C}{L} \left[2,3 \log \frac{8l}{d} - 1 \right] \dots\dots\dots (4.9)$$

Dengan Rt = Tahanan anoda dalam tanah (ohm)
 C = Tahanan jenis tanah (ohm/cm)
 l = Panjang anoda (feet)
 d = Diameter anoda (feet)
 Rt = 0,16 ohm

- Tahanan Kabel dari Anoda ke *Junction Box*

Kabel DC dengan insulasi NYFGbY digunakan baik sebagai kabel positif dan negatif. Susunan kabel terdiri atas sehelai konduktor tembaga yang diisolasi PVC dengan pelindung baja galvanis. Bagian paling luar kabel ditutup dengan PVC. Kabel yang diambil adalah kabel dua inti. Dengan ukuran kabel adalah $2c \times 16 \text{ mm}^2$ (c menunjukkan inti), *current rating* 115 A, dan hambatan pada temperatur 90°C sebesar 0.001446 ohm/m (untuk masing masing inti). Kabel ini menghubungkan setiap unit anoda ke *junction box* dengan jarak antar anoda ke *junction box* sebesar 44.5 m maka kita asumsikan panjang kabel 50 m. Tahanan kabel dapat dicari dengan persamaan.

$$RC = \frac{Lc \times Re}{N \times c} \dots\dots\dots (4.10)$$

Dengan : RC = Tahanan kabel (ohm)
 Lc = panjang kabel (m)
 N = jumlah kabel yang diparalel
 Re = tahanan spesifik kabel (ohm/m)
 C = jumlah inti kabel
 RC1 = 0.01205 ohm

- Tahanan kabel dari *Junction Box* ke *Rectifier*

Kabel dari masing-masing *junction box* menuju *transformer rectifier* diperkirakan sepanjang 133.5 m. Akan tetapi, panjang sebenarnya baru dapat ditentukan setelah dilaksanakan survei tahap akhir.

$$RC = \frac{133.5 \times 0.001446}{4 \times 2}$$

$$Rc2 = 0.0321 \text{ ohm}$$

$$Rc \text{ total} = Rc1 + Rc2$$

$$Rc \text{ total} = 0.01205 + 0.0321$$

$$Rc \text{ total} = 0.0446 \text{ ohm}$$

Maka Rtotal adalah $Rt + Ra + Rc = 3,0246 \text{ ohm}$.

5. Nilai Tegangan DC *Transformer Rectifier*

Nilai tegangan DC total dari sumber tenaga untuk mencapai arus keluaran DC yang diperlukan pada sistem proteksi dihitung berdasar persamaan berikut :

$$VDC = [(I_t \times R_{total}) \times (1+SF)] + B_{emf} \dots\dots\dots (4.11)$$

Dengan VDC = tegangan keluaran DC yang diperlukan (volt)
 I_t = arus total yang diperlukan (A)
 R_t = tahanan total DC (Ohm)
 B_{emf} = tegangan balik 2 V
 SF_3 = faktor keamanan yang diijinkan pada rectifier, (20 %)
 $VDC = 839 \text{ V}$

Maka dibutuhkan 4 *transformer rectifier* dengan kapasitas

Tegangan keluar 220 -380 V

Arus keluar 100 A

6. Daya AC yang diperlukan untuk *transformer rectifier*

Perhitungan di bawah ini digunakan untuk memperkirakan masukan suplai daya arus AC yang diperlukan oleh satu buah unit transformer rectifier 220 Vac, single phase, 50 Hz.

$$I_{ac} = \frac{I_{dc} \times V_{dc}}{V_{ac} \times eff \times \sqrt{3}} \dots\dots\dots (4.12)$$

Dengan I_{ac} = arus input ac (A)
 V_{ac} = tegangan input ac (ada 4 *rectifier*) (V)
 I_{dc} = arus keluaran dc (A)
 V_{dc} = tegangan keluaran dc (V)
 eff = efisiensi *rectifier* (80%)
 $I_{ac} = 18.75 \text{ A}$

Daya yang dibutuhkan *transformer rectifier* pada sistem proteksi katodik ini adalah:

$$P_{ac} = I_{ac} \times V_{ac} \times \sqrt{3} \dots\dots\dots (4.13)$$

Dengan I_{ac} = arus input ac (A)
 V_{ac} = tegangan input ac (V)

Tr = Jumlah *Transformer*

Pac = Daya yang dibutuhkan (vA)

$$Pac = 18.75 \times 220 \times \sqrt{3}$$

$$Pac = 7144 \text{ vA}$$

$$Pac = 7.114 \text{ KvA} = 5.69 \text{ kW}$$

7. Hasil Biaya Instalasi dan Perawatan ICCP

Dari pembahasan masalah diatas dapat disimpulkan bahwa membutuhkan 18 buah anoda, 4 buah *junction box*, 4 buah *transformer rectifier*, dan kabel sepanjang 648 meter. Maka biaya instalasinya dapat menjadi.

Tabel 4.13 Biaya Instalasi ICCP

Keterangan	Satuan	Harga satuan	Harga total
anoda	18	IDR 1,500,000	IDR 27,000,000.00
rec	4	IDR 30,000,000	IDR 120,000,000.00
jc	4	IDR 10,000,000	IDR 40,000,000.00
kabel 95	648	IDR 100,000	IDR 64,800,000.00
total			IDR 314,136,542.34

Dari pembahasan masalah diatas dapat disimpulkan bahwa 1 jam membutuhkan daya sekitar 5.69 kW dengan tarif dasar listrik non subsidi di Indonesia sebesar IDR 1.200, per kWh. Serta bangunan harus di inspeksi setiap 20 tahun sekali karena ketahanan anodanya untuk 20 tahun. Maka biaya perawatannya dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 4.14 Biaya Perawatan ICCP

Keterangan	Satuan	Harga/ satuan	
Listrik	49844.4 kW	IDR 1,200 kWh	IDR 59,813,280
Total biaya per tahun			IDR 59,813,280
Inspeksi			
Penyelam	2 orang	IDR 8,000,000	IDR 16,000,000
Sewa Alat Selam	2 buah	IDR 10,000,000	IDR 20,000,000
Total biaya pada tahun ke 20			IDR 95,813,280

4.2 Analisis Ekonomi

Tabel 4.15 Perbandingan Harga pada tahun ke 20

Biaya hingga 20 tahun						
Tahun	Alumunium	Zinc	ICCP	Alumunium (total)	Zinc (total)	MMO (total)
0	IDR 204,624,000	IDR 355,300,000	IDR 311,613,280	IDR 204,624,000	IDR 355,300,000	IDR 311,613,280
1	IDR 72,000,000	IDR 72,000,000	IDR 59,813,280	IDR 276,624,000	IDR 427,300,000	IDR 371,426,560
2	IDR 72,000,000	IDR 72,000,000	IDR 59,813,280	IDR 348,624,000	IDR 499,300,000	IDR 431,239,840
3	IDR 72,000,000	IDR 72,000,000	IDR 59,813,280	IDR 420,624,000	IDR 571,300,000	IDR 491,053,120
4	IDR 72,000,000	IDR 72,000,000	IDR 59,813,280	IDR 492,624,000	IDR 643,300,000	IDR 550,866,400
5	IDR 72,000,000	IDR 72,000,000	IDR 59,813,280	IDR 564,624,000	IDR 715,300,000	IDR 610,679,680
6	IDR 72,000,000	IDR 72,000,000	IDR 59,813,280	IDR 636,624,000	IDR 787,300,000	IDR 670,492,960
7	IDR 72,000,000	IDR 72,000,000	IDR 59,813,280	IDR 708,624,000	IDR 859,300,000	IDR 730,306,240
8	IDR 72,000,000	IDR 72,000,000	IDR 59,813,280	IDR 780,624,000	IDR 931,300,000	IDR 790,119,520
9	IDR 72,000,000	IDR 72,000,000	IDR 59,813,280	IDR 852,624,000	IDR 1,003,300,000	IDR 849,932,800
10	IDR 72,000,000	IDR 72,000,000	IDR 59,813,280	IDR 924,624,000	IDR 1,075,300,000	IDR 909,746,080
11	IDR 72,000,000	IDR 72,000,000	IDR 59,813,280	IDR 996,624,000	IDR 1,147,300,000	IDR 969,559,360
12	IDR 72,000,000	IDR 72,000,000	IDR 59,813,280	IDR 1,068,624,000	IDR 1,219,300,000	IDR 1,029,372,640
13	IDR 72,000,000	IDR 72,000,000	IDR 59,813,280	IDR 1,140,624,000	IDR 1,291,300,000	IDR 1,089,185,920
14	IDR 72,000,000	IDR 72,000,000	IDR 59,813,280	IDR 1,212,624,000	IDR 1,363,300,000	IDR 1,148,999,200
15	IDR 72,000,000	IDR 72,000,000	IDR 59,813,280	IDR 1,284,624,000	IDR 1,435,300,000	IDR 1,208,812,480
16	IDR 72,000,000	IDR 72,000,000	IDR 59,813,280	IDR 1,356,624,000	IDR 1,507,300,000	IDR 1,268,625,760
17	IDR 72,000,000	IDR 72,000,000	IDR 59,813,280	IDR 1,428,624,000	IDR 1,579,300,000	IDR 1,328,439,040
18	IDR 72,000,000	IDR 72,000,000	IDR 59,813,280	IDR 1,500,624,000	IDR 1,651,300,000	IDR 1,388,252,320
19	IDR 72,000,000	IDR 72,000,000	IDR 59,813,280	IDR 1,572,624,000	IDR 1,723,300,000	IDR 1,448,065,600
20	IDR 72,000,000	IDR 72,000,000	IDR 95,813,280	IDR 1,644,624,000	IDR 1,795,300,000	IDR 1,543,878,880

Setelah mengetahui hasil dan biaya dari instalasi dan perawatan kedua sistem katodik proteksi. Terdapat perbedaan dari waktu inspeksi kembali. Dan biaya yang dikeluarkan untuk perencanaan masing masing cukup bervariasi. Maka disusun biaya per 20 tahun setelah instalasi katodik proteksi. Terlihat biaya awal dari ICCP sangatlah mahal akan tetapi jika tarif dasar listrik tidak berubah maka akan tampak seperti tabel. Untuk perawatan 20 tahun mendatang ICCP lebih ekonomis.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

- Dari segi teknis metode SACP didapatkan anoda aluminium dengan dimensi 300mm x 150mm x 50mm dengan berat 6 kg perbuah sebanyak 252 buah dengan penempatan anoda per meter dari tepi dermaga sebesar 2-3 meter dan anoda *zinc* dengan dimensi 300mm x 150mm x 40mm dengan berat 12 kg perbuah sebanyak 323 buah dengan penempatan anoda per meter dari tepi dermaga sebesar 1-2 meter. Sedangkan metode ICCP didapatkan anoda titanium turbular sebanyak 18 buah dengan dimensi 32mm x 1,22mm x 0,1mm dengan penempatan antar *transformer* sebesar 180 m dari masing masing *transformer* terhubung dengan *junction box* sebanyak 1 buah dengan jarak 10 meter dari *transformer* yang menghubungkan ke anoda sebanyak 6 buah anoda per *junction box*. Pada Terminal Teluk Lamong ini dari kemudahan instalasi metode SACP memberikan keunggulan dengan anoda yang cocok untuk kasus ini adalah *aluminium* dengan berat tidak sebesar anoda *zinc* yang akan memberi beban tambahan pada kaki dermaga tersebut.
- Dari segi ekonomis kedua metode tersebut didapatkan hasil biaya instalasi untuk SACP anoda *aluminium* sebesar IDR 204.624.000 dan SACP anoda *zinc* sebesar IDR 355.300.000 menurut katalog harga dari LIPI. Sedangkan hasil biaya untuk instalasi ICCP sebesar IDR 311.613.280 menurut katalog dari TELPRO. Dan didapatkan hasil perawatan inspeksi untuk SACP sebesar IDR 72.000.000 untuk kedua anoda dilakukan inspeksi berkala setiap tahun, sedangkan hasil perawatan inspeksi untuk ICCP sebesar IDR 36.000.000 dilakukan inspeksi berkala setiap 20 tahun dan biaya operasional IDR 59.813.280 setiap tahun. Kesimpulan dari biaya yang dihasilkan oleh kedua metode tersebut untuk instalasi, metode SACP dengan anoda *aluminium* paling ekonomis. Tetapi secara berkala hingga 20 tahun biaya yang dikeluarkan untuk kedua metode tersebut adalah IDR 1.644.624.000 untuk metode SACP anoda *aluminium*, IDR 1.795.300.000 untuk metode SACP anoda *zinc*, dan IDR 1.543.878.880 untuk metode ICCP. Hal ini menunjukan metode ICCP paling ekonomis untuk struktur dengan desain umur yang lama. Pada kasus ini, Terminal Teluk Lamong mempunyai umur desain 100 tahun sehingga metode katodik proteksi yang cocok adalah ICCP.

5.2 Saran

- Untuk dapat merencanakan dengan anoda lainnya seperti *magnesium*, dan lainnya serta untuk *impressed current* dengan anoda jenis lainnya seperti *wired anode*, dan lainnya,
- Untuk dapat merencanakan bahan listrik alternatif untuk sistem *impressed current* dengan tenaga matahari, tenaga ombak, dan sebagaimana lainnya.
- Untuk dapat melanjutkan perencanaan setelah bangunan ini 10 atau 20 tahun mendatang.

Daftar Pustaka

- Bertolini L and P. Pedferri, 1998. *Stainless Steel in Reinforced Concrete Structures* , in *Concrete Under Severe Conditions 2* ., E&FN Spon: Norway
- Bertolini L, e.a. 1998, "Cathodic Protection and Cathodic Prevention in Concrete: Principles and Applications". *Journal of Applied Electrochemistry*,: p. 1321-1331.
- Bhuiyan, Shamin. 2015. *Effectiveness of Impressed Current Cathodic Protection Systems in Concrete Following Current Interruption*. University of Sheffield, UK
- Burstein, G.T. 1994, *Passivity and Localised Corrosion* , in *Corrosion (3rd edition)* , L.L. Shreir, R.A. Jarman, and G.T. Burstein, Editors, Elsevier.
- Broomfield, John. P. 1997, *Corrosion of Steel in Concrete (Understanding, investigation and repair)*, E & FN Spon An Imprint of Routledge, London and New York
- Chess P, M. 2014., *Cathodic Protection of Steel in Concrete and Masonry* . 2nd edition ed. Chess P.M and Broomfield J.P.
- Daily, Steven F., Kendell, K.1998, "Cathodic Protection of New Reinforced Concrete Structures in Aggressive Environments", *Material Performance NACE International*.
- Det Norske Veritas . 2010. *Recommended Practice DNV-RP-B401 Cathodic Protection Design*
- Dexter, Stephen. C. 1979. *Handbook of Oceanographic Engineering Materials*. New York: John Wiley,
- Elsener, B. 2000, *Corrosion of Steel in Concrete in Materials Science and Technology* , Cahn RW and ea, Editors, Wiley.
- Faber, John., Mead, Frank.1965, *Reinforcement Concrete*, ELBS ed., The English Language Book Society and E & FN Spon Ltd.
- Greenwood, Norman N.; Earnshaw, A. (1997), *Chemistry of the Elements* (2nd ed.), Oxford: Butterworth-Heinemann
- Glass G.K, e.a.2008, "Hybrid Corrosion Protection of Chloride - Contaminated Concrete. Construction Materials", *Corrosion Science*, 2013-2031
- Hayfield, P.C.S. 1986, *Corrosion Prevention in Concrete - The Cathodic Protection of Reinforcing Steel Bars Using Platinised - Type Materials*. Platinised Metals Rev,
- Kearsley, E.1999, *The Effect of High Volumes of Ungraded Fly Ash on the Properties of Foamed Concrete* - Thesis , University of Leeds.
- Maher A. Al-Afraj,2002 "The 100-mV depolarization criterion for Zinc Ribbon anodes on Externally Coated Tank Bottoms", *Material performance NACE International*.

- M Maslehuddin, e.a. 1996, *Effect of Temperature on Pore Solution Chemistry and Reinforcement Corrosion in Contaminated Concrete in Corrosion of Reinforcement in Concrete Construction*, The Royal Society of Chemistry. p. 67.
- Mears R.B, 1949. *A Unified Method of Passivity and Inhibition*. Electrochemical Society,): p. 1-10.
- Nuclear Energy Agency. 2002. "Electro chemical Techniques to Detect Corrosion in Concrete Structures in Nuclear Installations - Technical Note". *Organisation of Economic Cooperation and Development*. p. 11.
- Neville, A. 1995, "Chloride Attack of Reinforced Concrete". *Materials and Structures*, 28
- Peabody A. W. 1967, "Control of Pipeline Corrosion," NACE, Houston,
- Pourbaix, M., 1974, *Applications of Electrochemistry in Corrosion Science and in Practice. Corrosion Science*, Houston, Tex.: National Association of Corrosion Engineers.
- Revertegat E. 1992, *Effect of pH on the Durability of Cement Pastes*. Cement and Concrete Research.
- Revie, R.W. and H.H. Uhlig, 2008. *Corrosion and Corrosion Control* ., John Wiley and Sons.
- Sackinger, William. 1980. *Cause and Prevention of Corrosion*. University of Alaska Sea Grant Program, Marine Advisory Bulletin #10, 15 pp.
- Scannel W and A. Sohaghpurwala. 1993. *Cathodic Protection as a Corrosion Control Alternative*, ConCorr Inc
- Soare A and C. Mandravel, 2010. *Nature of the Corrosion Products Formed on Carbon Steel under Marine Atmosphere Environment Investigated by Vibration Spectroscopy*. Revista De Chimie.
- Sulistijono. 1999. *Diklat Kuliah Korosi*, Teknik Material dan Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Sutirto, 2014, *Diarto Trisnoyuwono Gelombang dan Arus Laut Lepas*. Jakarta : Graha Ilmu
- Schießl, P. 1988, *Corrosion of Steel in Concrete*. New York, USA : Chapman and Hall.
- Trethewey, K.R., dan Chamberlain, J. 1991. *Korosi untuk Mahasiswa dan Rekayasawan*. Diterjemahkan oleh Alex tri Kantjono Widodo. Jakarta : PT Gramedia Pustaka Utama.
- Turnbull. A, Coleman. D, Griffiths. A. J, Francis. P. E, Orkney. L, 2003 Effectiveness of Corrosion Inhibitors in Retarding the Rate of Propagation of Localized Corrosion, CORROSION.
- Tutti, K., *Corrosion of Steel in Concrete* . 1982, Swedish Cement and Concrete Research Institute: Stockholm.
- UU no 21 Tahun 1992 Bab I pasal 1 "Tentang Sistem Pelayaran Indonesia"

WebCorr. Electrochemical Techniques . 1995; Available from:
http://www.corrosionclinic.com/corrosion_online_lectures/ME303L11.HTM.

LAMPIRAN I

Densitas Air Laut Dan Faktor Electrochemical

Tabel Lampiran 1.1 Densitas Air Laut

<i>Depth (m)</i>	<i>Tropical</i> ($> 20^{\circ}\text{C}$)	<i>Sub-Tropical</i> ($12\text{-}20^{\circ}\text{C}$)	<i>Temperate</i> ($7\text{-}12^{\circ}\text{C}$)	<i>Artic</i> ($<7^{\circ}\text{C}$)
0-30	0.0025	0.0015	0.001	0.0008
>30-100	0.002	0.001	0.0008	0.0006
>100	0.001	0.0008	0.0006	0.0006

Tabel Lampiran 1.2 Faktor Electrochemical

<i>Anode</i> <i>Material Type</i>	<i>Environment</i>	<i>Electrochemical Capacity</i> (Ah/kg)	<i>Closed Circuit Potential</i> (V)
<i>Al-based</i>	<i>seawater</i>	2000	-1.05
	<i>sediments</i>	1500	-0.95
<i>Zn-based</i>	<i>seawater</i>	780	-1
	<i>sediments</i>	700	-0.95

LAMPIRAN II
TABEL VOLTA

Tabel Lampiran 2.1 Tabel Volta

TABEL VOLTA	
$3/2\text{N}_2(\text{g}) + \text{H}^+ + \text{e}^-$ is in equilibrium with $\text{HN}_3(\text{aq})$	-3.09
$\text{Li}^+ + \text{e}^-$ is in equilibrium with $\text{Li}(\text{s})$	-3.0401
$\text{N}_2(\text{g}) + 4\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^-$ is in equilibrium with $2\text{NH}_2\text{OH}(\text{aq}) + 2\text{OH}^-$	-3.04
$\text{Cs}^+ + \text{e}^-$ is in equilibrium with $\text{Cs}(\text{s})$	-3.026
$\text{Rb}^+ + \text{e}^-$ is in equilibrium with $\text{Rb}(\text{s})$	-2.98
$\text{K}^+ + \text{e}^-$ is in equilibrium with $\text{K}(\text{s})$	-2.931
$\text{Ba}^{2+} + 2\text{e}^-$ is in equilibrium with $\text{Ba}(\text{s})$	-2.912
$\text{La}(\text{OH})_3(\text{s}) + 3\text{e}^-$ is in equilibrium with $\text{La}(\text{s}) + 3\text{OH}^-$	-2.90
$\text{Sr}^{2+} + 2\text{e}^-$ is in equilibrium with $\text{Sr}(\text{s})$	-2.899
$\text{Ca}^{2+} + 2\text{e}^-$ is in equilibrium with $\text{Ca}(\text{s})$	-2.868
$\text{Eu}^{2+} + 2\text{e}^-$ is in equilibrium with $\text{Eu}(\text{s})$	-2.812
$\text{Ra}^{2+} + 2\text{e}^-$ is in equilibrium with $\text{Ra}(\text{s})$	-2.8
$\text{Na}^+ + \text{e}^-$ is in equilibrium with $\text{Na}(\text{s})$	-2.71
$\text{La}^{3+} + 3\text{e}^-$ is in equilibrium with $\text{La}(\text{s})$	-2.379
$\text{Y}^{3+} + 3\text{e}^-$ is in equilibrium with $\text{Y}(\text{s})$	-2.372
$\text{Mg}^{2+} + 2\text{e}^-$ is in equilibrium with $\text{Mg}(\text{s})$	-2.372
$\text{ZrO}(\text{OH})_2(\text{s}) + \text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^-$ is in equilibrium with $\text{Zr}(\text{s}) + 4\text{OH}^-$	-2.36
$\text{Al}(\text{OH})_4^- + 3\text{e}^-$ is in equilibrium with $\text{Al}(\text{s}) + 4\text{OH}^-$	-2.33
$\text{Al}(\text{OH})_3(\text{s}) + 3\text{e}^-$ is in equilibrium with $\text{Al}(\text{s}) + 3\text{OH}^-$	-2.31
$\text{H}_2(\text{g}) + 2\text{e}^-$ is in equilibrium with 2H^-	-2.25
$\text{Ac}^{3+} + 3\text{e}^-$ is in equilibrium with $\text{Ac}(\text{s})$	-2.20

TABEL VOLTA	
<i>Be²⁺ + 2e⁻ is in equilibrium with Be(s)</i>	-1.85
<i>U³⁺ + 3e⁻ is in equilibrium with U(s)</i>	-1.66
<i>Al³⁺ + 3e⁻ is in equilibrium with Al(s)</i>	-1.66
<i>Ti²⁺ + 2e⁻ is in equilibrium with Ti(s)</i>	-1.63
<i>ZrO₂(s) + 4H⁺ + 4e⁻ is in equilibrium with Zr(s) + 2H₂O</i>	-1.553
<i>Zr⁴⁺ + 4e⁻ is in equilibrium with Zr(s)</i>	-1.45
<i>Ti³⁺ + 3e⁻ is in equilibrium with Ti(s)</i>	-1.37
<i>TiO(s) + 2H⁺ + 2e⁻ is in equilibrium with Ti(s) + H₂O</i>	-1.31
<i>Ti₂O₃(s) + 2H⁺ + 2e⁻ is in equilibrium with 2TiO(s) + H₂O</i>	-1.23
<i>Zn(OH)₄²⁻ + 2e⁻ is in equilibrium with Zn(s) + 4OH⁻</i>	-1.199
<i>Mn²⁺ + 2e⁻ is in equilibrium with Mn(s)</i>	-1.185
<i>Fe(CN)₆⁴⁻ + 6H⁺ + 2e⁻ is in equilibrium with Fe(s) + 4HCN(aq)</i>	-1.16
<i>Te(s) + 2e⁻ is in equilibrium with Te²⁻</i>	-1.143
<i>V²⁺ + 2e⁻ is in equilibrium with V(s)</i>	-1.13
<i>Nb³⁺ + 3e⁻ is in equilibrium with Nb(s)</i>	-1.099
<i>Sn(s) + 4H⁺ + 4e⁻ is in equilibrium with SnH₄(g)</i>	-1.07
<i>SiO₂(s) + 4H⁺ + 4e⁻ is in equilibrium with Si(s) + 2H₂O</i>	-0.91
<i>B(OH)₃(aq) + 3H⁺ + 3e⁻ is in equilibrium with B(s) + 3H₂O</i>	-0.89
<i>Fe(OH)₂(s) + 2e⁻ is in equilibrium with Fe(s) + 2OH⁻</i>	-0.89
<i>Fe₂O₃(s) + 3H₂O + 2e⁻ is in equilibrium with 2Fe(OH)₂(s) + 2OH⁻</i>	-0.86
<i>TiO₂⁺ + 2H⁺ + 4e⁻ is in equilibrium with Ti(s) + H₂O</i>	-0.86
<i>2H₂O + 2e⁻ is in equilibrium with H₂(g) + 2OH⁻</i>	-0.8277
<i>Bi(s) + 3H⁺ + 3e⁻ is in equilibrium with BiH₃</i>	-0.8
<i>Zn²⁺ + 2e⁻ is in equilibrium with Zn(Hg)</i>	-0.7628
<i>Zn²⁺ + 2e⁻ is in equilibrium with Zn(s)</i>	-0.7618
<i>Ta₂O₅(s) + 10H⁺ + 10e⁻ is in equilibrium with 2Ta(s) + 5H₂O</i>	-0.75
<i>Cr³⁺ + 3e⁻ is in equilibrium with Cr(s)</i>	-0.74
<i>[Au(CN)₂]⁻ + e⁻ is in equilibrium with Au(s) + 2CN⁻</i>	-0.60
<i>Ta³⁺ + 3e⁻ is in equilibrium with Ta(s)</i>	-0.6
<i>PbO(s) + H₂O + 2e⁻ is in equilibrium with Pb(s) + 2OH⁻</i>	-0.58
<i>2TiO₂(s) + 2H⁺ + 2e⁻ is in equilibrium with Ti₂O₃(s) + H₂O</i>	-0.56
<i>Ga³⁺ + 3e⁻ is in equilibrium with Ga(s)</i>	-0.53
<i>U⁴⁺ + e⁻ is in equilibrium with U³⁺</i>	-0.52
<i>H₃PO₂(aq) + H⁺ + e⁻ is in equilibrium with P(white)[note 1] + 2H₂O</i>	-0.508
<i>H₃PO₃(aq) + 2H⁺ + 2e⁻ is in equilibrium with H₃PO₂(aq) + H₂O</i>	-0.499
<i>H₃PO₃(aq) + 3H⁺ + 3e⁻ is in equilibrium with P(red)[note 1] + 3H₂O</i>	-0.454
<i>Fe²⁺ + 2e⁻ is in equilibrium with Fe(s)</i>	-0.44
<i>2CO₂(g) + 2H⁺ + 2e⁻ is in equilibrium with HOCCOOH(aq)</i>	-0.43
<i>Cr³⁺ + e⁻ is in equilibrium with Cr²⁺</i>	-0.42
<i>Cd²⁺ + 2e⁻ is in equilibrium with Cd(s)</i>	-0.40

TABEL VOLTA

<i>GeO₂(s) + 2H⁺ + 2e⁻ is in equilibrium with GeO(s) + H₂O</i>	-0.37
<i>Cu₂O(s) + H₂O + 2e⁻ is in equilibrium with 2Cu(s) + 2OH⁻</i>	-0.360
<i>PbSO₄(s) + 2e⁻ is in equilibrium with Pb(s) + SO₄²⁻</i>	-0.3588
<i>PbSO₄(s) + 2e⁻ is in equilibrium with Pb(Hg) + SO₄²⁻</i>	-0.3505
<i>Eu³⁺ + e⁻ is in equilibrium with Eu²⁺</i>	-0.35
<i>In³⁺ + 3e⁻ is in equilibrium with In(s)</i>	-0.34
<i>Tl⁺ + e⁻ is in equilibrium with Tl(s)</i>	-0.34
<i>Ge(s) + 4H⁺ + 4e⁻ is in equilibrium with GeH₄(g)</i>	-0.29
<i>Co²⁺ + 2e⁻ is in equilibrium with Co(s)</i>	-0.28
<i>H₃PO₄(aq) + 2H⁺ + 2e⁻ is in equilibrium with H₃PO₃(aq) + H₂O</i>	-0.276
<i>V³⁺ + e⁻ is in equilibrium with V²⁺</i>	-0.26
<i>Ni²⁺ + 2e⁻ is in equilibrium with Ni(s)</i>	-0.25
<i>As(s) + 3H⁺ + 3e⁻ is in equilibrium with AsH₃(g)</i>	-0.23
<i>AgI(s) + e⁻ is in equilibrium with Ag(s) + I⁻</i>	-0.15224
<i>MoO₂(s) + 4H⁺ + 4e⁻ is in equilibrium with Mo(s) + 2H₂O</i>	-0.15
<i>Si(s) + 4H⁺ + 4e⁻ is in equilibrium with SiH₄(g)</i>	-0.14
<i>Sn²⁺ + 2e⁻ is in equilibrium with Sn(s)</i>	-0.13
<i>O₂(g) + H⁺ + e⁻ is in equilibrium with HO₂•(aq)</i>	-0.13
<i>Pb²⁺ + 2e⁻ is in equilibrium with Pb(s)</i>	-0.13
<i>WO₂(s) + 4H⁺ + 4e⁻ is in equilibrium with W(s) + 2H₂O</i>	-0.12
<i>P(red) + 3H⁺ + 3e⁻ is in equilibrium with PH₃(g)</i>	-0.111
<i>CO₂(g) + 2H⁺ + 2e⁻ is in equilibrium with HCOOH(aq)</i>	-0.11
<i>Se(s) + 2H⁺ + 2e⁻ is in equilibrium with H₂Se(g)</i>	-0.11
<i>CO₂(g) + 2H⁺ + 2e⁻ is in equilibrium with CO(g) + H₂O</i>	-0.11
<i>SnO(s) + 2H⁺ + 2e⁻ is in equilibrium with Sn(s) + H₂O</i>	-0.10
<i>SnO₂(s) + 2H⁺ + 2e⁻ is in equilibrium with SnO(s) + H₂O</i>	-0.09
<i>WO₃(aq) + 6H⁺ + 6e⁻ is in equilibrium with W(s) + 3H₂O</i>	-0.09
<i>P(white) + 3H⁺ + 3e⁻ is in equilibrium with PH₃(g)</i>	-0.063
<i>Fe³⁺ + 3e⁻ is in equilibrium with Fe(s)</i>	-0.04
<i>HCOOH(aq) + 2H⁺ + 2e⁻ is in equilibrium with HCHO(aq) + H₂O</i>	-0.03
<i>2H⁺ + 2e⁻ is in equilibrium with H₂(g)</i>	0.0000
<i>AgBr(s) + e⁻ is in equilibrium with Ag(s) + Br⁻</i>	+0.07133
<i>S₄O₆²⁻ + 2e⁻ is in equilibrium with 2S₂O₃²⁻</i>	+0.08
<i>Fe₃O₄(s) + 8H⁺ + 8e⁻ is in equilibrium with 3Fe(s) + 4H₂O</i>	+0.085
<i>N₂(g) + 2H₂O + 6H⁺ + 6e⁻ is in equilibrium with 2NH₄OH(aq)</i>	+0.092
<i>HgO(s) + H₂O + 2e⁻ is in equilibrium with Hg(l) + 2OH⁻</i>	+0.0977
<i>Cu(NH₃)₄²⁺ + e⁻ is in equilibrium with Cu(NH₃)₂⁺ + 2NH₃</i>	+0.10

LAMPIRAN III
DOKUMENTASI LAPANGAN

Gambar Lampiran 3.1 Crane dan Pile Teluk Lamong



Gambar Lampiran 3.2 Pile Cap



Gambar Lampiran 3.3 Jalur Conveyor dan Jetty



Gambar Lampiran 3.4 Pile 77 hingga 79



Gambar Lampiran 3.5 Proses Bongkar Muat



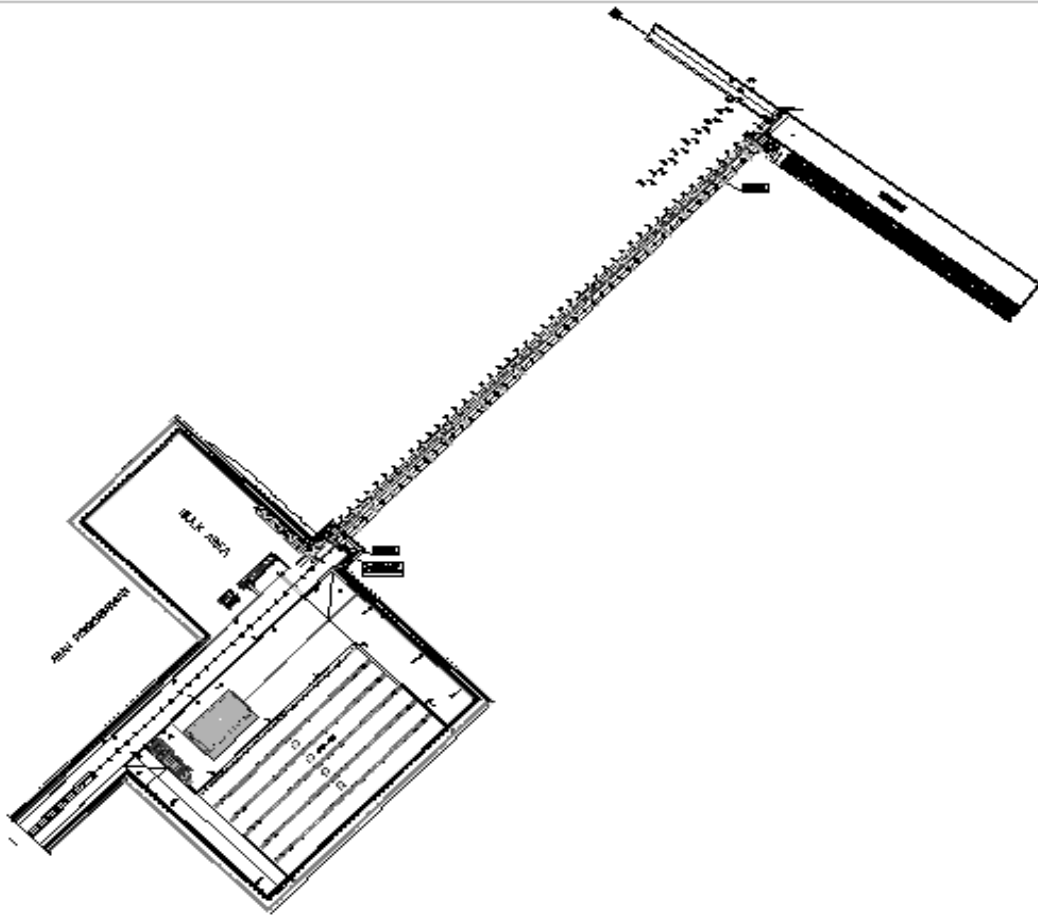
Gambar Lampiran 3.6 Pile dengan Pile Cap



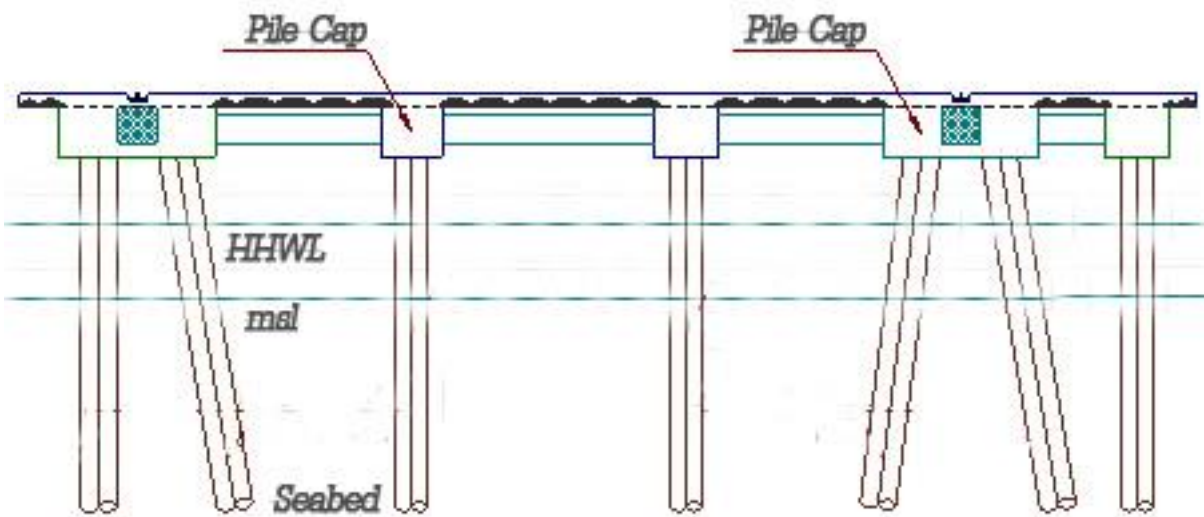
LAMPIRAN IV

DESAIN PERENCANAAN

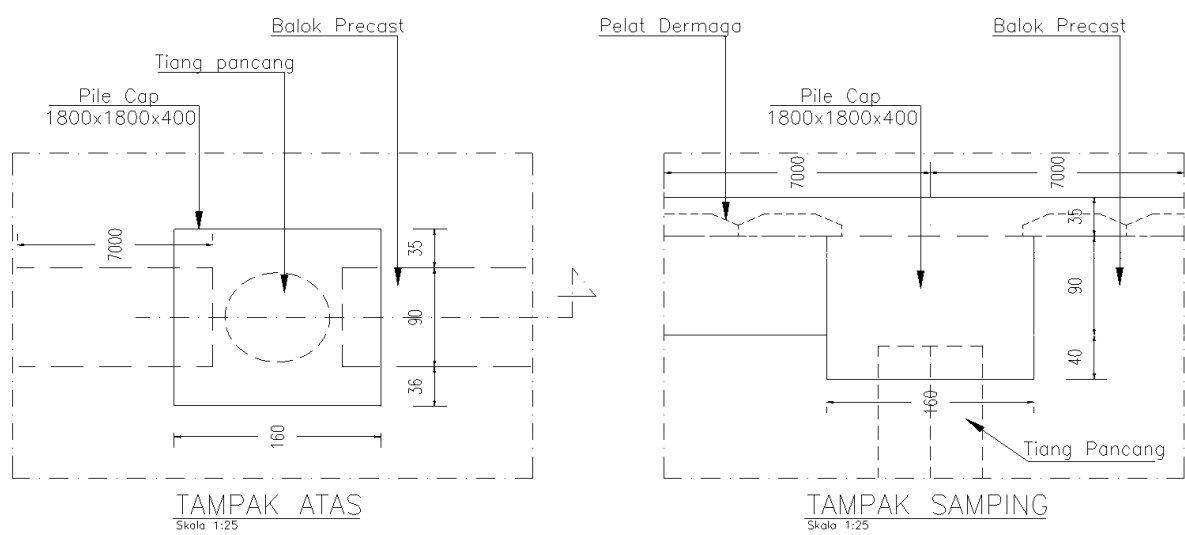
Gambar Lampiran 4.1 Desain Dermaga



Gambar Lampiran 4.2 Desain Elevasi Dermaga



Gambar Lampiran 4.3 Desain Pile Cap



BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di kota Cirebon, 7 Desember 1991, yang merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu TK Kemuning Indah Cirebon, SD Al -Azhar Cirebon, SD Muhamadiyah 15 Wiyung Surabaya, SMPN 6 Surabaya dan SMA Al-Falah Surabaya. Kemudian setelah lulus dari SMA tahun 2009, penulis melanjutkan pendidikannya di Fakultas Teknologi Kelautan ITS Jurusan Teknik Kelautan dan mengambil bidang keahlian Korosi di Kelautan. Selama kuliah, penulis aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Kelautan pada tahun 2011-2012. Kerja praktek di PT PP Persero Indonesia, Surabaya selama dua bulan pada tahun 2015. Pada Tahun 2017, penulis akhirnya dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Analisa Perencanaan Proteksi Katodik Pada Kaki Dermaga Teluk Lamong”. Penulis menyelesaikan Tugas Akhir ini dalam satu setengah semester.

Contact Person: bijakprihan3620@gmail.com